

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение эффективности технологической схемы подготовки газа и газового конденсата путем внедрения инжекторных технологий

УДК 622.279.8:621.694.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зиякаев Григорий Ракитович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк Вера Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаяев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2020 г.

Результаты ООП

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	УК-1, УК-2, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК-1.0ПК-2, ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационнокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7, ПК-2, ПК-4 критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области производственно-технологической деятельности		
P3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов.	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных

		стандартов: 40.083 17 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
P4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве.	УК-1, УК-2, ОПК-6, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области организационно-управленческой деятельности		
P5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы.	УК-3, УК-6, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазового промышленного оборудования	УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-4, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н),

		19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области экспериментально-исследовательской деятельности		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела.	УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-5
в области проектной деятельности		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов установок, технического обслуживания и ремонта оборудования.	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-

	<p>промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.</p>	<p>2,ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "</p>
--	---	---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) Манабаев К.К.

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Курмель Роману Сергеевичу

Тема работы:

Повышение эффективности технологической схемы подготовки газа и газового конденсата путем внедрения инжекторных технологий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№79-16/с от 19.03.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом разработки является схема утилизации попутного нефтяного (факельного) газа. В качестве исходных данных представлены: давления, расходы, температура активного и пассивного потоков.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературное исследование проблематики использования инжекторных технологий в нефтегазовом производстве 2. Анализ типовых конструкций. Основные узлы, действующие нагрузки. 3. Произвести расчет параметров эжектора. 4. Финансовый менеджмент. 5. Социальная ответственность. 6. Выводы по работе.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент
«Английский язык»	Макаровских Александра Викторовна, старший преподаватель
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Теоретическая часть ВКР	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	19.03.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Зиякаев Г.Р.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Курмель Р.С.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страниц, 20 таблиц, 19 рисунков, 51 источник, одно приложение на английском языке.

Ключевые слова: эжектор, попутный нефтяной газ, факельный газ, установка комплексной подготовки газа, утилизация.

Объектом исследования является технологическая схема подготовки нефти, газа и газового конденсата.

Цель работы – повышение эффективности технологической схемы, применяя эжектор для полезной утилизации попутного нефтяного (факельного) газа, расчет характеристик эжектора.

При оформлении выпускной квалификационной работы были использованы программы:

- Microsoft Office Word
- Mathcad 15
- КОМПАС-3d v17
- SolidWorks

В результате выполнения работы были исследованы условия эксплуатации, рассчитаны геометрические и технологические показатели, эффективность применения эжектора.

Список определений, сокращений и условных обозначений

Аппарат воздушного охлаждения (АВО) – это система теплообменного устройства, специализирующаяся на охлаждении жидкостей и газа.

Гидратообразование – это процесс, возникающий при падениях температуры и давления, что влечет за собой уменьшение упругости водяных паров и влагоемкости газа, а, вследствие чего - образование гидратов.

Деэтанализованный конденсат (ДК) – нестабильный газовый конденсат, из которого удален основной объем метана и этана.

Дожимная компрессорная станция (ДКС) – компрессорная станция, которая устанавливается на выходе из газового промысла и предназначена для повышения давления газа до рабочего давления в магистральном газопроводе.

Дополнительное извлечение конденсата (ДИК) – процесс извлечения дополнительного объема товарного газового конденсата.

Конденсатный фактор (КФ) – это количество сырого конденсата, приходящегося на 1 м³ отсепарированного газа.

Нестабильный конденсат (НК) – жидкие углеводороды, в которых растворены газовые углеводороды и неуглеводородные компоненты.

Низкотемпературная сепарация (НТС) – процесс промысловой обработки природного газа с целью извлечения из него газового конденсата и удаления влаги. Осуществляется при температурах от 0 до -30°С.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти; выделяющихся в процессе добычи и подготовки нефти. К нефтяным газам также относят газы, выделяющиеся в процессах термической переработки нефти, состоящие из предельных и непредельных углеводородов.

Сепаратор – аппарат, производящий разделение продукта на фракции с разными характеристиками.

Стабильный конденсат (СК) – жидкость, состоящая из тяжелых углеводородов, в которой растворено не более 2–3% массы пропан-бутановой фракции или других компонентов. Получают из нестабильного конденсата

путем его дегазации. На практике часто термин «стабильный конденсат» используется вместо термина «газовый конденсат».

Турбодетандер (ТДА) – устройство, преобразующее потенциальную энергию газа в механическую энергию. При этом газ, совершая работу, охлаждается.

Эжектор – гидравлическое устройство, в котором происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
2. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ.....	23
2.1 Низкотемпературная сепарация	23
2.2 Типовые конструкции сверхзвуковой сепарации	26
2.3 Принцип работы сопла Лавалья	27
2.4 Исследование конденсационных характеристик сопла Лавалья ..	29
2.5 Сжижение природного газа (СПГ).....	29
2.6 Удаление кислых газов.....	31
2.7 Восстановление паров природного газа из резервуаров с использованием немеханических технологий	34
2.8 Утилизация попутного нефтяного (факельного) газа	38
3. РАСЧЕТ ЭЖЕКТОРА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА	41
3.1 Принцип работы	41
3.2 Исходные данные.....	42
3.3. СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭЖЕКТОРА	42
3.4 РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЖЕКТОРА.....	43
4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	51
4.1. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	51
4.2. ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	55
4.3. БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (НТИ)	62
4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА	66
4.5 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	67
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	69
5.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ 70	
5.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	71
5.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	79
5.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	82
5.5 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А	93

Введение

Современные технологии добычи, транспортировки и переработки природного и низконапорного нефтяного газов, разрабатываемые мировой индустрией на протяжении последнего времени, существенно повысили перспективы рационального индустриального применения ресурса этих газов. Стремительное увеличение добычи и наращивания запасов углеводородов привело к резкому падению цен на нефть и газ, которые, в условиях пандемии, выглядят крайне нестабильно. Проблема переработки и рационального использования попутного нефтяного газа, так же, как и проблема переработки и эффективной транспортировки природного газа потребителям толкает развитие нестандартных способов применения их ресурсов. Особенно направленных на снижение энергоемкости нефтегазовой промышленности.

Многие процессы в нефтегазовой промышленности связаны с протеканием и контактом нескольких фаз и эжекторы могут применяться для снижения энергоемкости химической и перерабатывающей промышленности. Среди различных применений существуют следующие макрообласти в нефтегазовой отрасли: утилизации технических газов, уменьшение мощности газокompрессорной станции, повышение давления в коллекторе, закачивание газа в подземные хранилища, подключение в сеть низконапорных газов (тем самым отказавшись либо уменьшив объем сжигания).

Применения эжекторов многочисленны и охватывают холодильные, энергетические и химические сектора. С одной стороны, технология эжектора требует ограниченного обслуживания, имеет низкие эксплуатационные расходы и не имеет ограничений в отношении рабочих жидкостей; с другой стороны, сложная однофазная и многофазная гидродинамика делает конструкцию эжектора и прогнозирование производительности реальной проблемой. Эта перспектива исследует основные достижения в технологии выталкивания и предлагает критическое обсуждение с перспективой будущих исследований.

Эжектор обеспечивает тройной эффект (а именно: повышение давления, смешивание и захват), он требует ограниченного обслуживания, имеет низкие затраты и не имеет ограничений в отношении рабочих жидкостей. Благодаря этим преимуществам технология эжектора очень привлекательна для многих применений, и интерес научного сообщества к этому компоненту в последние годы экспоненциально возрос. Например, его использование для использования солнечной энергии и для модернизации систем газовой промышленности представляет практический интерес для снижения потребления первичной энергии в масштабе домохозяйства и производств, тем самым поддерживая пути декарбонизации. К сожалению, сложные взаимосвязи между динамикой жидкости в «локальном масштабе» и конструкцией эжектора не до конца поняты, что делает трудным основанное на рациональном описании описание «масштаба компонентов».

Исследования в области альтернативных технологий энергосбережения и рабочих жидкостей для охлаждения продолжаются, и низкотемпературное повышение температуры стало важной частью общих усилий по снижению воздействия глобального потепления на окружающую среду. Системы на основе эжектора, которые термически активированы, обеспечивают потенциально многообещающее решение, особенно для умеренного отопления или охлаждения, охлаждения и кондиционирования воздуха. Они могут восстанавливать низкокачественную энергию, которая используется в качестве отработанного тепла в большинстве промышленных процессов, и использовать возобновляемую энергию или любой другой источник по низкой цене.

Способность холодильных систем на основе эжектора восстанавливать отработанное тепло и использовать рабочие жидкости, безвредные для окружающей среды, вызывает большой интерес среди тех, кто разрабатывает приложения для холодильной техники и других промышленных областей. Для этого необходимо улучшить характеристики эжектора, которые обычно скромны и особенно чувствительны к условиям противодавления.

Актуальность работы

Многие процессы в нефтегазовой промышленности связаны с протеканием и контактом нескольких фаз и эжекторы могут применяться для снижения энергоемкости нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности.

С одной стороны, технология эжектора требует ограниченного обслуживания, имеет низкие эксплуатационные расходы и не имеет ограничений в отношении рабочих жидкостей; с другой стороны, сложная однофазная и многофазная гидродинамика делает конструкцию эжектора и прогнозирование производительности реальной проблемой.

Использование эжекторов на установках комплексной подготовки газа позволит значительно повысить безотказность работы и избежать проблем, возникающих при эксплуатации альтернативных устройств. В частности, ввод эжекторов позволяет частично решить проблему сжигания ПНГ, которая на данный момент, является одной из наиболее важных проблем нефтегазового комплекса.

Цель работы

Провести анализ опыта применения струйных аппаратов в технологии нефтегазовых промыслов, а также анализ различных типов конструкций эжектора. Выполнить расчет характеристик и параметров эжектора для утилизации попутного нефтяного (факельного) газа.

Задачи исследования:

- изучение и анализ опыта применения эжекторов в нефтегазовой промышленности, анализ типовых конструкций эжекторов;
- рассмотрение различных схем установок комплексной подготовки газа;
- рассмотрение проблемы утилизации ПНГ;
- расчет основных параметров эжектора в схеме утилизации ПНГ.

1. Обзор литературы

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, а также проанализированы современные тенденции развития в разработке как наземных, так и морских(шельфовых) нефтегазовых месторождений, успехов в области конструирования и строительства промышленных объектов, внедрении современного оборудования в эксплуатируемые схемы подготовки и транспорта, а также проанализированы рассмотрены современные технологические схемы подготовки газа и газового конденсата. В том числе работы ученых в области морского гидротехнического строительства применяемого в области освоения углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана, рассматривая перспективы этих районов, в числе которых работа Гусейнова Ч.С. и J.S. Archer, C.G. Wall «Petroleum Engineering. Principles and practice». [1, 2]

Газовая промышленность России появилась много позже нефтяной и является сравнительно молодой отраслью топливно-энергетического сектора страны [3]. Ее историю принято вести с 1946 года, когда был введен в эксплуатацию первый магистральный газопровод. Издание «Российская газовая энциклопедия» под редакцией Р.И. Вяхирева, включающее в себя статьи, термины и графические материалы, излагает в доступной форме базовые научно-практические знания о газовой промышленности в России как для широкого круга читателей, так и для специалистов. Именно в этом издании была решена проблема разной трактовки важных понятий газовой промышленности, приводившей к снижению эффективности работы специалистов, особенно остро имевшей факт на стыке наук, и недоразумениям разного рода. Дополнением к данному источнику является переработанное и дополненное второе издание «Справочника работника газовой промышленности». Он содержит практические значения постоянных, таблицы с константами и данными для различных месторождений, а также теоретические сведения.

Изучая первоочередный этап – добычу газа, было обращено внимание на книгу Р.И. Вяхирева, А.И. Гриценко, Р.М. Тер-Саркисова «Разработка и эксплуатация газовых месторождений». Авторы являются крупными специалистами, имеющими опыт работы решения задач отрасли не только в России, но и во всех зарубежных газодобывающих странах. В данном издании анализируется опыт разработки самых крупных мировых месторождений газа и газового конденсата. Описываются основные проблемы, возникающие в процессе разработки залежей природного газа. Описываются представленные на рынке новейшие технологии, а также те технологии, которые были предложены авторами издания и имевшие опыт успешного внедрения и использования в газовой отрасли. Существенная доля книги приурочена к крайне злободневным вопросам, связанным с разработкой трудноизвлекаемых залежей жидких и газообразных углеводородов, процент которых непреклонно увеличивается по мере истощения природных ресурсов. [4]

Базовой литературой о переработке является «Технология переработки нефти и газа» Гуревича И.Л. Издание представлено в виде учебника в трех частях. В первой части кратко изложена теория нефтеперерабатывающей промышленности, первичной переработке нефти, а также природных и попутных нефтяных газов. Значительное внимание уделено аппаратному оформлению технологических процессов, их технико-экономическим показателям. Вторая часть учебника рассматривает технологию подготовки и использования заводских углеводородных газов, а также рассматриваются поточные схемы переработки нефти с получением топливных компонентов. Третья часть отражает процессы очистки и разделения нефтяного сырья, пути использования побочных продуктов, а также а также приготовление нефтепродуктов с использованием присадок. [5]

Работа, которую публикует William C. Lyons в коллаборации с 26 учеными «Standard handbook of petroleum and natural gas engineering» представляет собой справочник в классическом проявлении и объединяет главы по математике и компьютерным приложениям, естественным наукам,

общему машиностроению и вспомогательному оборудованию. первые главы задают тон руководства, используя инженерный язык и обозначения, общие для всех инженерных дисциплин [6]. Этот общий язык и обозначения используются во всем руководстве (язык и обозначения почти во всех случаях соответствуют практике публикации Общества инженеров-нефтяников). Авторы, которых насчитывается 27, пытались избегать жаргона, проникшего в литературу по нефтяной инженерии за последние несколько десятилетий. Цель состояла в том, чтобы создать справочник по дисциплине нефтегазовой инженерии, который мог бы прочитать и понять любой современный инженер.

При подготовке монографии «Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России», авторы Гриценко А.И., Истомин В.А., Кульков А.Н., Сулейманов Р.С. ставили перед собой задачи отразить богатый опыт проектирования и эксплуатации промысловых систем на Крайнем Севере в сконцентрированном и обобщенном виде. Значительное место отведено изложению низкотемпературных процессов промысловой подготовки газа. Рассматриваются основные проблемы совершенствования качества продукции газовой промышленности и определение показателей качества [7]. Представляется ряд материалов справочного характера и уделяется повышенное внимание проблеме предупреждения и ликвидации газовых гидратов в системах сбора и промысловой подготовки газа. В некоторых случаях авторы используют специальные приемы, чтобы заострить внимание на характерных проблемах и привлечь специалистов из смежных областей к промысловым вопросам.

Во втором, переработанном издании книги Дейч М.Е. «Техническая газодинамика» рассматривается движение газа в соплах, диффузорах, эжекторах, решетках и ступенях турбомашин. Также, в первой части книги рассматривается теория одномерных и плоских течений. Автор ориентируется на изучение основных проблем аэродинамика проточной части турбомашин, сохраняя общую направленность книги [8]. Издание полезно для инженерных

и научных работников лабораторий и конструкторских заводов, а также студентов профильных специальностей.

При написании научной статьи «Анализ эффективности подготовки газа на северных месторождениях на примере Средне-Тюнгского газоконденсатного месторождения (Республика Саха-Якутия)» [9], Борисов Д.С. базируется на проекте обустройства Средне-Тюнгского газоконденсатного месторождения. Рассматриваются две принципиальные схемы низкотемпературной подготовки газа. Указаны преимущества использования эжекторной технологии в сравнении с дроссельной посредством анализа результатов состава нестабильного конденсата.

Научная работа «Исследование технологии с циклической работой эжектора в нефтегазовой промышленности» Сазонова Ю.А., Мохова М.А., Туманян Х.А., представляет техническое решение, которое может применяться при добыче углеводородов на суше и на море. Проведенная исследовательская работа циклической работы эжектора, при которой давление газа достигает единицы по отношению к давлению силового насоса, подтверждается проведенными стендовыми испытаниями в лабораторных условиях. Рассмотрены потенциальные возможности для относительно большего сжатия газа и перспективные задачи по увеличению давления газа [10].

В научной работе «Effect Of Geometrical Parameters On The Performance Of A Multiphase Ejector» Andreussi P., Ansiati A., Senna S., Battaia C., Di Berardo L., Zamuner D. Рассматриваются основные недостатки, связанные с использованием многофазных эжекторов, определяемые их низкой эффективностью и низкой дальностью действия. Авторы выделяют, что радиус действия выталкивателя может быть улучшен с помощью сменных внутренних элементов, что в настоящее время используется ENIE & P. Однако это простое решение не может быть применено в таких случаях, как подводные применения [11]. По этим причинам разработка многофазного эжектора с переменным активом (VAME), который позволяет изменять

геометрию извне, может представлять большой интерес для устройств, ускоряющих углеводороды. В данной статье представлены результаты экспериментальной деятельности, в ходе которой была исследована зависимость характеристик эжектора от его геометрических параметров. Наиболее важными параметрами конструкции являются диаметр сопла, расстояние от сопла до камеры смешения, диаметр камеры смешения и длина камеры смешения. Результаты эксперимента показали существенную зависимость характеристик эжектора от диаметра сопла, расстояния от сопла до камеры смешения и диаметра камеры смешения сопла, расстояния от сопла до камеры смешения, диаметр камеры смешения и длина камеры смешения. Результаты эксперимента показали существенную зависимость характеристик эжектора от диаметра сопла, расстояния от сопла до камеры смешения и диаметра камеры смешения.

Вербитский В.С., Игrevский Л.В., Федоров А.Е., Горидко К.А., Денгаев А.В. в научной работе «Technology Design of Efficient Utilization of Associated Petroleum Gas APG and Possibilities of Its Realization by Pump-Booster and Pump-Ejector Systems» рассматривается разработка технологии эффективного использования попутного нефтяного газа и возможности его реализации с помощью насосно-бустерной и насосно-эжекторной систем. Авторы выделяют, что одним из негативных факторов, снижающих эффективность нефтяной промышленности в России, является проблема сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) на факелах. В данной статье описывается сложный вопрос рационального использования попутного нефтяного газа на примере одного из месторождений углеводородов России [12]. Задачи исследования были выбраны на основе подробного изучения полевой инфраструктуры и геолого-физических характеристик конструкции этого пласта. Это было сделано для разработки технологии SWAG с одновременным отводом низконапорного газа со ступеней разделения низкого давления, соответственно, чтобы уменьшить сжигание ПНГ.

В научной статье «Vapor Recovery of Natural Gas Using Non-Mechanical Technology» опубликованной Mark A. Goodyear, Alexandra L. Graham, John B. Stoner, Brian E. Boyer, Lyle P. Zeringue в журнале Society of Petroleum Engineers, описывается альтернативный метод для обработки природного газа низкого давления, который обычно выпускается в атмосферу, сжигается или извлекается с помощью механического компрессора на объектах добычи нефти и газа. В этом приложении использовался струйный эжектор Вентури [13] в качестве устройства для сжатия природного газа из резервуаров для хранения сырой нефти до промежуточного давления для использования на месте или конечной закачки в торговый трубопровод.

Патент РФ № 2140580, опубликованный "Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры" Российского акционерного общества "ГАЗПРОМ", под авторством Зиберт Г.К., Запорожец Е.П., Шулекин Б.П., описывает струйную установку. Целью изобретения являлось обеспечение автономной работы струйной установки путем использования энергии потоков жидкости и газа. Данное изобретение базируется на аналогичном устройстве, за исключением одного опорного органа, благодаря чему было уменьшено потребление энергии.

A.B. Chakraborty and Kapil Deb Kalita, ONGC; Scott Bartos, U.S. Environmental Protection Agency; and Sandra Seastream, and Andy Shartzter, ICF International опубликовали статью «International Collaboration to Advance Sustainable Oil & Natural Gas Production and Climate Protection», которая является результатом работы по международному сотрудничеству в области добычи нефти и газа, с защитой окружающей среды. Международная программа Natural Gas STAR является добровольным партнерством между нефтегазовой отраслью и Агентством по охране окружающей среды США (EPA), которое способствует использованию экономически эффективных технологий и методов для уменьшения выбросов метана. Действуя немедленно по рекомендациям Партнерства и в соответствии с корпоративной программой ONGC по управлению выбросами углерода, на сегодняшний день

сократила выбросы метана на исследуемых объектах на 30 процентов, достигнув ежегодной экономии природного газа более 9 миллионов кубических метров (ММ куб. М). В этом документе также рассматриваются будущие планы ONGC по защите климата. В частности, рассматриваются технологии улавливания паров из резервуаров на основе эжектора [14]. Эжектор использовал движущий газ из сепаратора высокого давления в качестве движущей силы для вытягивания паров из резервуара. Как только пары извлекаются из резервуара, метан отделяется от сырой смеси СПГ. Метан направляется на потребительский газ, в то время как сырьевая смесь СПГ продолжает поступать на установки фракционирования и переработки.

В научной работе «Универсальные характеристики газожидкостных эжекторов» авторы Лысин Ю.В., Коршак А.А., Голофаст С.Л. основываются на низком коэффициенте полезного действия существующих решений эжекторов и, проведя исследования в Иваново-Франковском университете, описывают четыре созданных аэродинамических схемы газо-жидкостных эжекторов, имеющих срывной и предельный граничные режимы работы и К.П.Д. достигающий 40% [15]. В данной работе авторы разработали универсальную безразмерную характеристику для газо-жидкостных эжекторов, которая не зависит от расхода перекачиваемого газа и характеристик используемого насоса, что позволяет сразу выбрать наиболее предпочтительный тип аэродинамической схемы эжектора.

Педаш Дарья в магистерской диссертации «Анализ эффективности методов подготовки природного газа в условиях крайнего севера на примере газового месторождения Каменномысское-море (ЯНАО)» анализирует действующие технологии подготовки газа в условиях крайнего севера с обоснованием выбора оптимального реагента в качестве ингибитора гидратообразования и разработкой оптимальных технологических параметров установки подготовки газа [16].

Как показывает анализ отечественных и зарубежных научных работ, природный газ является одним из самых предпочтительных видов топлива и

играет все большую роль в энергообеспечении. По данным Министерства энергетики США, спрос на природный газ, как ожидается, увеличится примерно на 31% с 2015 по 2035 год. В Китае доля природного газа в потреблении первичной энергии увеличился до более чем 10% к 2020 году. Требования к природному газу во всем мире мотивировали развитие технологии обработки природного газа. Технология сверхзвукового разделения с применением эжекторной технологии - это новый подход к конденсации и отделению воды, тяжелых углеводородов и других примесей от природного газа. Сложность заключается в сложной математике и газогидродинамике при разработке, анализе и аналитике этих устройств, хотя некоторые аспекты этой технологии были хорошо изучены, в практике все еще существуют некоторые проблемы. Процесс разделения и очистки является одной из ключевых частей в газовой промышленности. В настоящее время наиболее распространенные методы включают абсорбцию, адсорбцию, мембранную и сверхзвуковую сепарацию. Технология сверхзвукового разделения имеет большое значение для развития газовой промышленности с точки зрения безопасности, защиты окружающей среды, энергосбережения и сокращения потребления по сравнению с вышеупомянутыми методами. Принимая во внимание хорошие характеристики этой технологии, многие исследователи изучили конструкцию, производительность и эффективность, экономическую жизнеспособность и промышленное применение сверхзвуковых сепараторов.

2. Применение эжекторных технологий в нефтегазовом комплексе

2.1 Низкотемпературная сепарация

Природный газ стал наиболее предпочтительным топливом и играет все более значимую роль в энергоснабжении из-за его природной щедрости, большей эффективности и рентабельности [17]. По данным Министерства Энергетики США, спрос на природный газ, как ожидается, увеличится примерно на 31% с 2015 по 2035 год. В Китае доля природного газа в потреблении первичной энергии увеличится до более чем 10% к 2020 году, исходя из «План действий по развитию энергетической стратегии», опубликованный Госсоветом. Спрос на природный газ во всем мире мотивировал развитие технологии обработки природного газа.

Природный газ, добываемый из устьев скважин, всегда содержит воду, тяжелые углеводороды, кислые газы (углекислый газ, сероводород) и другие примеси. Присутствие этих примесей уменьшит теплотворную способность (значение теплоты сгорания) природного газа и увеличит потери энергии при транспортировке по трубопроводу, а кислые газы могут вызвать коррозию трубопровода и технологического оборудования в присутствии воды. Следовательно, эти примеси должны быть удалены из природного газа, чтобы соответствовать требованиям к качеству трубопровода и спецификациям продажного газа. Процесс разделения и очистки является одной из ключевых частей в газовой промышленности. В настоящее время наиболее распространенные методы включают абсорбцию, адсорбцию, мембранную и сверхзвуковую сепарацию.

Поглощение (абсорбция) представляет собой физический или химический процесс, в котором атомы, молекулы или ионы входят в какую-то объемную фазу - жидкий или твердый материал [18], который содержит химическую реакцию при очистке газа. Абсорбент является одним из наиболее важных звеньев в процессе абсорбции, и общие абсорбенты, используемые в газовой промышленности, включают в себя хлорид кальция, этиленгликоль,

диэтиленгликоль, триэтиленгликоль и тетраэтиленгликоль, в котором триэтиленгликоль является наиболее широко используемым для поглощения газа. Способ абсорбции обладает преимуществами гибкой обрабатывающей способности, и абсорбент легко регенерируется, но процесс абсорбции является особенно сложным с большим количеством массивного оборудования.

В отличие от абсорбции, адсорбция представляет собой поверхностное явление, при котором жидкость (абсорбат) растворяется или проникает в жидкость или твердое вещество (абсорбент), соответственно [19]. Это может быть физический или химический процесс, основанный на поверхностных силах, который приведет к очень низкой концентрации. Обычные твердые адсорбенты включают активированный оксид алюминия, силикагель и молекулярное сито. Эта технология может достигать очень низкой точки росы и подходит для процесса криогенного разделения, который требует очень низкого содержания газа, но имеет недостатки, связанные с большими расходами, высокими потерями давления газа и так далее.

В технологии мембранного разделения [20] газовые смеси могут быть эффективно разделены синтетическими мембранами, изготовленными из полимеров, таких как полиамид или ацетат целлюлозы, или из керамических материалов. Градиент концентрации поддерживается высоким парциальным давлением ключевых компонентов в газе на одной стороне мембранного барьера и низким парциальным давлением на другой стороне. Наиболее важной проблемой для этого продвинутого процесса является мембранный материал. Эта технология обладает большим потенциалом благодаря своим преимуществам, таким как простой процесс, меньшая занятость земли и отсутствие вторичного загрязнения. Однако крупномасштабное промышленное применение мембранного разделения все еще сталкивается с серьезной проблемой: потеря углеводов очень велика, и измеренная скорость может достигать 5–6% в полевых испытаниях.

Сверхзвуковой сепаратор - это новая технология, применяемая для достижения точки росы углеводородов и обезвоживания газа, которая может использоваться для конденсации и отделения воды и тяжелых углеводородов от природного газа. Известно, что первой группой, которая проводила исследования сверхзвуковых сепараторов, была инженерная группа из Нидерландов Twister BV [21-22]. Кроме того, Алферов и соавт. [23] из России также работал над сверхзвуковым сепаратором, который они называли технологию Super Sonic Separator («3S»). Сверхзвуковой сепаратор обычно состоит из сопла Лаваля, циклона и диффузора. Сопло Лаваля обладает хорошим охлаждающим эффектом по сравнению с другими дроссельными устройствами, такими как расширитель, вихревая труба и значение Джоуля-Томсона (J-T) (сравнение показано на рисунке 1).

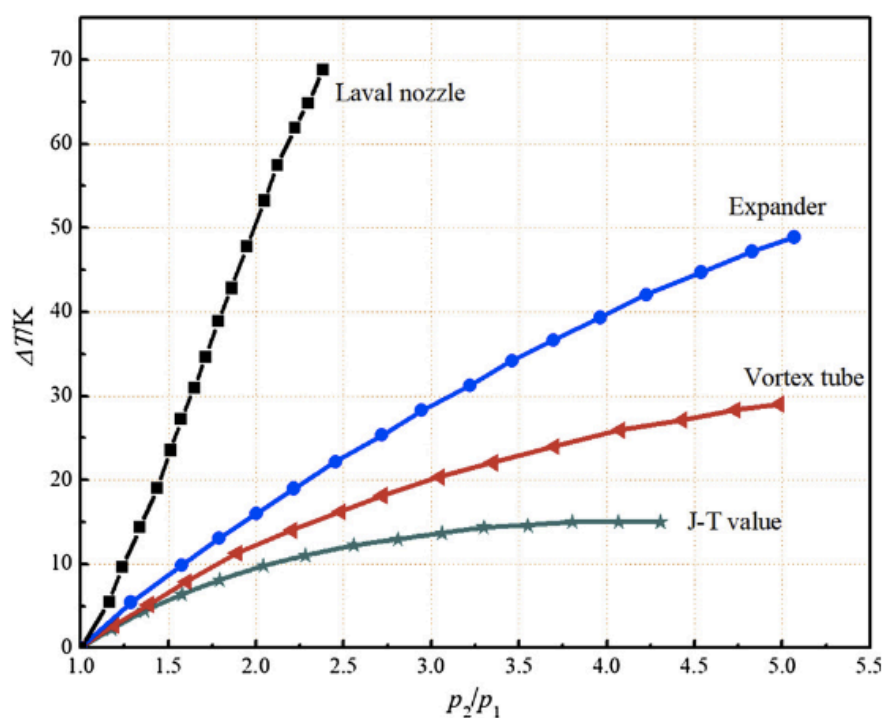


Рисунок 1 - Характеристики охлаждения различных дроссельных устройств

Сверхзвуковой сепаратор предотвращает проблемы с гидратами и устраняет необходимость в системах ингибиторов и регенерации из-за короткого времени пребывания в устройстве, обеспечивая безопасное для окружающей среды оборудование. Он представляет собой статическое

устройство, в котором отсутствуют вращающиеся части, обеспечивая высокую надежность и доступность. Поэтому он подходит для автоматических операций (САУ), особенно для морских платформ. Технология сверхзвукового разделения важна для развития газовой промышленности с точки зрения безопасности, защиты окружающей среды, энергосбережения и снижения потребления по сравнению с вышеупомянутыми методами. Принимая во внимание хорошие характеристики этой технологии, многие исследователи изучили конструкцию, производительность и эффективность, экономическую жизнеспособность и промышленное применение сверхзвуковых сепараторов.

2.2 Типовые конструкции сверхзвуковой сепарации

Согласно различным принципам работы, сверхзвуковой сепаратор можно разделить на две типовые структуры. Одним из них является сверхзвуковой сепаратор, разработанный Twister BV [21-22] - сверхзвуковой сепаратор с обратной циклонной системой. «Twister I» является одним из представителей, в котором вихревое устройство установлено за соплом Лаваля, как показано на рисунок 2. Другой представлен сепаратором «3S», разработанным компанией ENGO [23] - фронт циклона, размещенный сверхзвуковой сепаратор, в котором завихряющее устройство установлено на входе сопла Лаваля, как показано на рисунок 3. Составные элементы этих двух типов сепараторов в основном одинаковы, но положения установки циклонных устройств различны.

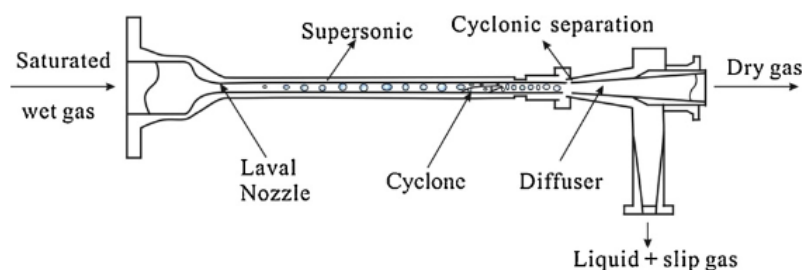


Рисунок 2 – Схема конструкции сепаратора «Twister I»

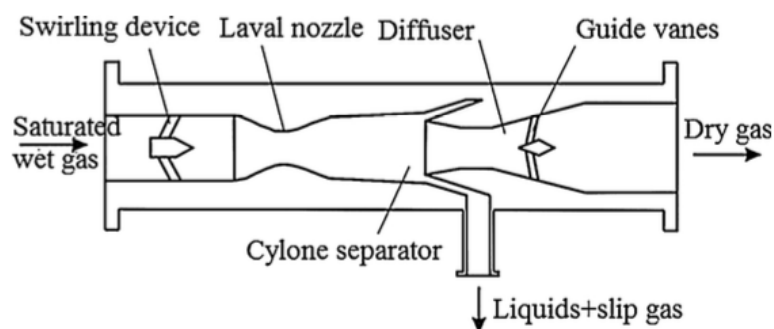


Рисунок 3 – Схема конструкции сепаратора «3S»

Существенным различием между двумя типами сепараторов является структура потока в дозвуковом или сверхзвуковом состоянии. В сопле Лавалья сепаратора «Твистер I» поток равномерный и явной ударной волны не возникает. Но когда газ протекает через циклон, преобразование осевой скорости в тангенциальную скорость происходит в сверхзвуковом состоянии, и в вихревой секции будет иметь место явная наклонная ударная волна, которой трудно управлять. Текущие результаты исследований показывают, что сепаратор «Twister I» может обеспечить хороший эффект завихрения при управлении ударной волной между циклоном и диффузором, но это ограничит возможности сепаратора по восстановлению давления и увеличит потери энергии.

Для сепаратора «3S» преобразование осевой скорости в тангенциальную возникает при дозвуковых условиях, и после циклона не возникает наклонная ударная волна. В то же время, газ расширяется до сверхзвуковой скорости в закрученном состоянии в расходящемся участке сопла Лавалья. Одновременное возникновение завихрений и конденсации может эффективно уменьшить отрицательные эффекты повторного испарения капель и повысить эффективность сепарации устройства.

2.3 Принцип работы сопла Лавалья

Конструкция сопла Лавалья в основном включает тип линии дозвукового сходящегося участка и сверхзвукового расходящегося участка.

Функция сходящейся секции заключается в ускорении воздушного потока и обеспечении равномерного и стабильного потока воздуха на выходе.

Производительность сходящейся секции зависит от отношения площади впуска к площади выпуска и типа линии этой секции. Существуют различные методы проектирования для типа линии сходящегося участка. Обычно используемые методы включают в себя кривую Витозинского, параметрическую бикубическую кривую и кривую Квинтика. В конструкции сопла Лавалья кривая Витозинского может обеспечить стабильное распределение воздушного потока и хорошую производительность охлаждения.

После входа в горловину сопла природный газ дополнительно ускоряется в расширяющейся секции, давление продолжает увеличиваться, и температура продолжает снижаться, и возникает явление конденсации, которое вызывает изменение фазового состояния. Обычно используемые методы для расходящегося участка показаны в таблице 1. Поскольку метод с равным наклоном прост в разработке, прост в обработке и практический эффект лучше, он широко используется в разработке эжекторов.

Таблица 1 - Обычно используемые методы проектирования для расходящегося участка [24]

Метод проектирования	Особенности модели
Метод характеристической линии	Обычно используется для устойчивых двумерных, осесимметричных и вращационных сверхзвуковых течений.
Метод соотношения площадей	Этот тип конструкции может быть рассчитан по аналитической формуле, а дизайн прост.
Метод равного уклона	Он прост в дизайне, прост в обработке, а практический эффект лучше.

2.4 Исследование конденсационных характеристик сопла Лавалья

Сопло Лавалья является значительной частью сверхзвукового сепаратора, который может обеспечить конденсацию целевых компонентов. Газ расширяется и ускоряется до сверхзвуковой скорости в сопле Лавалья, что приводит к низкой температуре и давлению, и водяной пар, тяжелые углеводороды и другие конденсируемые компоненты начинают конденсироваться. Чтобы повысить эффективность разделения оборудования, необходимо прояснить закон о спонтанном потоке и конденсации конденсирующихся газов в сверхзвуковых условиях.

Новые применения технологии сверхзвукового разделения:

Сверхзвуковой сепаратор имеет большой потенциал применения в других областях обработки природного газа. В последние годы ученые провели некоторые исследования новых применений технологии сверхзвукового разделения, таких как сжижение природного газа, удаление кислых газов и так далее.

2.5 Сжижение природного газа (СПГ)

Вен и др. [25] сравнили распределения температуры и давления поля потока, рассчитанные с помощью программного обеспечения FLUENT, с диаграммами огибающей фазы, сгенерированными с помощью программного обеспечения HYSYS, и пришли к выводу, что сверхзвуковые сепараторы могут использоваться в оборудовании для получения сжиженного природного газа (СПГ). Бьян и др. [26] представили новый тип процесса сжижения газа, как показано на рисунок 4. После предварительного охлаждения с помощью теплообменника природный газ поступает в сопло Лавалья и сжимается при высокой скорости и низкой температуре. Затем смесь газа и жидкости поступает в газожидкостный сепаратор, а жидкости поступают в резервуар для хранения СПГ. Низкотемпературный природный газ из газожидкостного сепаратора смешивается с паровым газом, полученным из резервуара для хранения СПГ, и затем поступает в теплообменник для нагрева входящего

природного газа. Сверхзвуковые свойства разжижения и фазовое поведение природного газа в сопле детально изучены [26].

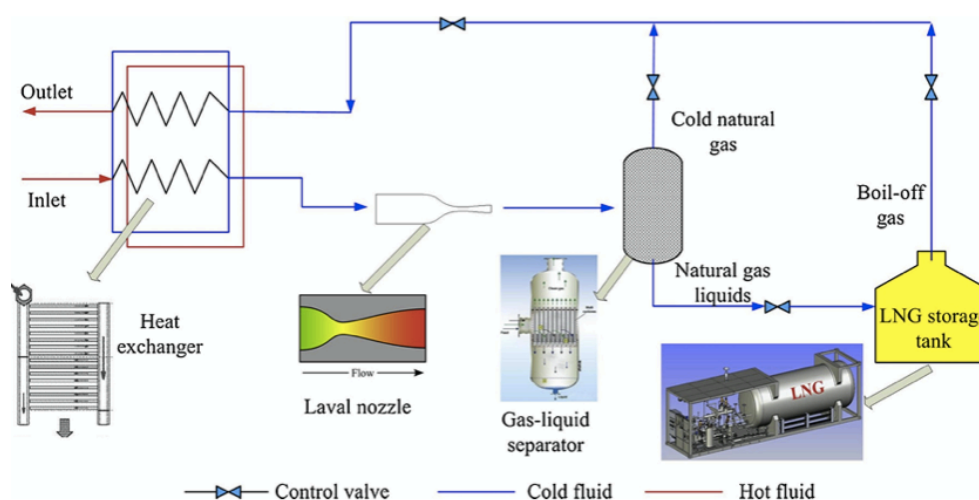


Рисунок 4 – Новый тип процесса сжижения газа

Ян и соавторы [27] численно смоделировали характеристики конденсации природного газа в разработанном сопле Лаваля с использованием модели реального газа Национального института стандартов и технологий (NIST). Возможность сжижения природного газа с помощью сопла подтверждена, но, согласно результатам моделирования, эффективность низкая. Вскоре после этого были предложены подходы к повышению эффективности сжижения природного газа путем добавления внешних сердечников для осуществления гетерогенной конденсации и использования двухступенчатой сверхзвуковой вихревой сепарационной установки (рисунок 5). Результаты показывают, что влажность на выходе гетерогенной конденсации была увеличена на 82,17%, а скорость сжижения двухстадийного процесса сжижения увеличилась на 155,13% по сравнению с одностадийным процессом сжижения [27].

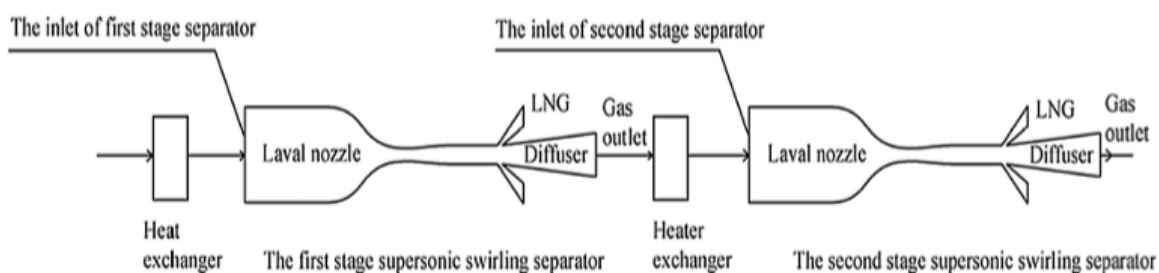


Рисунок 5 – Двухступенчатый процесс сверхзвукового сжижения

2.6 Удаление кислых газов

В последние годы Янг и др. [28] внедрили сверхзвуковой сепаратор в области удаления диоксида углерода из природного газа. Исследован механизм разделения между каплями и газом и процесс конденсации в сопле Лавалья. Обсуждается влияние давления на входе, температуры и фракции углекислого газа на входе на параметры потока и конденсации, и эти выводы согласуются с результатами исследований по газу смеси метана и водяного пара. Кроме того, они изменили модель расчета поверхностного натяжения капель диоксида углерода, используя кусочную функцию для достижения точного прогноза при условиях низкой температуры и высокого давления, среднее отклонение кусочной функции может быть ниже 0,95% в соответствии с результатами их расчета [28].

Аринелли и соавторы [29] исследовали эффективность обработки сверхзвукового сепаратора для влажного природного газа с 44% мол. Диоксида углерода на морских буровых установках и сравнили его с традиционной технологией обработки природного газа, включая абсорбцию триэтиленгликоля (регулировка точки росы воды), значение JT (регулировка точки росы по углеводородам) и проникновение через мембрану (удаление диоксида углерода). Вместо того, чтобы сосредоточиться на процессе конденсации с фазовым переходом, использовался программный пакет HYSYS для моделирования нескольких блоков в стационарных и парожидкостных оболочках при различных условиях.

Сан вместе с соавторами [30], исследовали потенциально применимый сверхзвуковой сепаратор при объемной обработке природного газа, содержащего высокую концентрацию сероводорода. Исследовано влияние концентрации подаваемого сероводорода, рабочих параметров и геометрии сопла на процесс сверхзвуковой конденсации. Концентрации на выходе и скорости конденсации сероводорода при различных условиях через сопла Лавалья показаны в таблице 2.

**Таблица 2 - Конденсационные характеристики сероводорода в сопле
при разных условиях**

Список параметров	Ценность	Выходная концентрация сероводорода	Степень конденсации (%)
Входная концентрация подачи сероводорода	0,10	0,0368	63,2
	0,15	0,0582	61,2
	0,18	0,0728	59,6
Давление на входе (МПа)	8	0,0582	61,2
	9	0,0492	67,2
	10	0,0414	72,4
Температура на входе (К)	293	0,0451	69,9
	298	0,0514	65,7
	303	0,0582	61,2
Коэффициент расширения	3,49	0,0582	61,2
	4,48	0,0473	68,5
	5,76	0,0380	74,7

Другие применения

Сфорца и соавторы [31] предложили теоретическую модель для надежной системы очистки синтез-газа, основанную на фундаментальных концепциях, включающих сверхзвуковой конденсационный закрученный поток. Вихревой сверхзвуковой сепаратор был разработан для отделения всех конденсируемых компонентов, включая водяной пар, диоксид углерода и сероводород, от синтез-газа. Хотя это применение является более сложным, чем очистка синтез-газа, из-за более низкой рабочей температуры и давления, проведенные эксперименты продемонстрировали явное доказательство явления десублимации и миграции частиц диоксида углерода.

Значение охлаждения газа

Охлаждение используется в ряде случаев:

- Охлаждение сжатым газом. Это обычно требуется в регионах вечной мерзлоты, чтобы избежать того, что газ при добыче «плавит» вечную мерзлоту.
- Сжижение природного газа (СПГ).
- Холодильная камера на газовом заводе для удаления жидкостей.

Основной холодильный цикл (рисунок 23) включает передачу тепла от рабочей жидкости в хладагент (в жидком состоянии) путем испарения жидкости. Это скрытое увеличение тепла (то есть температура хладагента не изменяется). Чистый эффект охлаждения (NRE) процесса определяется как тепло на единицу массы, которое может поглотить хладагент, то есть различия в энтальпии между точками 2 и 3. Затем испаренный хладагент сжимается, а тепло от технологического газа и Процесс сжатия затем переносится в другую среду (например, охлаждающую воду или атмосферный воздух). В этом процессе хладагент снова сжижается. Эта жидкость затем расширяется до более низкого давления, во время которого часть жидкости испаряется в пар, тем самым снижая температуру жидкости. Таким образом, давление нагнетания компрессора определяется давлением насыщения хладагента при температуре в конденсаторе. Температура конденсатора, в свою очередь, определяется температурой воздуха или воды, используемой для его охлаждения.

Это процесс охлаждения в его самой простой форме. Более сложные циклы включают каскады (с использованием низкотемпературного и высокотемпературного цикла с различными газами) и сложные процессы с использованием двухступенчатого сжатия с пароохладителями и экономайзерами.

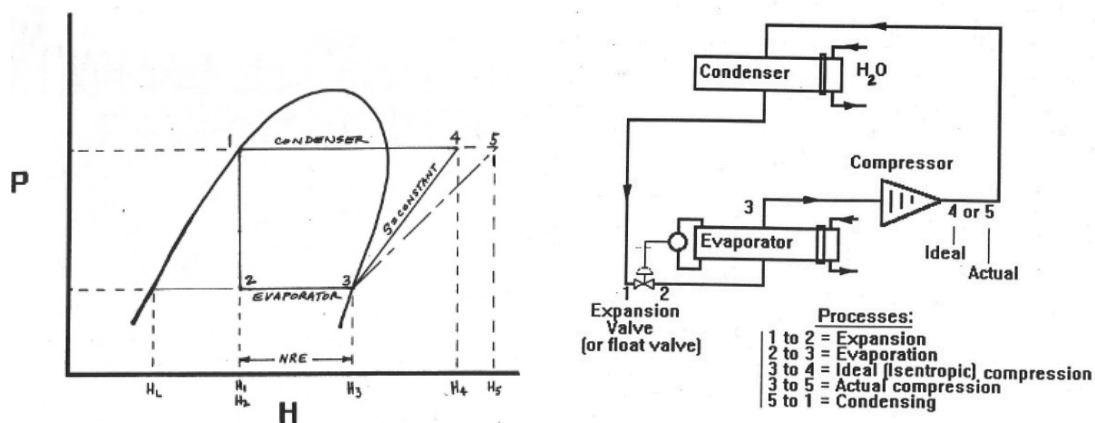


Рисунок 6 – Простой цикл охлаждения

2.7 Восстановление паров природного газа из резервуаров с использованием немеханических технологий

Отечественная промышленность насчитывает довольно большое количество резервуаров для хранения нефти и конденсата. Например, в резервуарах компании «Транснефть» может храниться порядка 23 млн. куб. м. углеводородов. В Соединенных Штатах приблизительно 250 000 резервуаров.

Эти резервуары хранят сырую нефть и конденсат до транспортировки для продажи по трубопроводу, танкерами, поездами или автотранспортом.

Источники вентиляционных газов из резервуаров - от попутного нефтяного газа, простоя и рабочие потери. В США На объектах нефтедобычи установлено приблизительно от 8 000 до 10 000 блоков механического улавливания паров (VRU) с четырьмя резервуарами, обычно подключенными к каждому VRU. Большинство из этих резервуаров являются резервуарами с неподвижной крышей.

Далее будет рассматриваться использование альтернативного метода для обработки природного газа низкого давления, который обычно выпускается в атмосферу в факеле или извлекается с помощью механического компрессора на объектах добычи нефти и газа. Струйный эжектор Вентури используется в качестве устройства для сжатия природного газа из резервуаров для хранения сырой нефти / воды до промежуточного давления для использования на месте или конечной закачки в торговый трубопровод.

При закачке нефти в резервуары для хранения, низкомолекулярные углеводороды, растворенные в сырой нефти, выходят из раствора или «вспыхивают», когда давление падает, когда нефть поступает в резервуар. Резервуары для хранения, как правило, расположены ниже по потоку от сосуда низкого давления, такого как двух- или трехфазный сепаратор или очиститель нагревателя. Попутные газы включают метан, этан, летучие органические соединения и опасные загрязнители воздуха. Эти газы накапливаются в камере накопительных резервуаров с неподвижной крышей, которые обычно используются при добыче нефти и газа.

Постоянные потери связаны с суточными и сезонными изменениями температуры. Рабочие потери возникают из-за паров газа, выделяющихся при заполнении резервуара, и перемешивания содержимого резервуара, когда свежая нефть смешивается в резервуарах для хранения. Резервуары с неподвижной крышей обычно имеют предохранительный клапан, который выпускает газ, когда давление в резервуаре превышает 0,25 psig или 0,002 МПа.

Системы улавливания паров для резервуаров для хранения сырой нефти установлены по нескольким причинам. Улавливание отходящего газа для использования в системе (например, топливный газ, газлифт) или впрыск в трубопровод сбыта, который приводит к повышению эффективности, увеличению прибыли и сохранению природных ресурсов. Государственные и федеральные нормативные требования к качеству воздуха могут требовать улавливания паров и других мер контроля выбросов. Эти проблемы регулирования возникают из-за того, что вентиляционные газы в резервуаре содержат летучие органические соединения (пропан плюс фракция), которые являются предшественниками образования озона. Кроме того, нормативные требования ограничивают выбросы отходящих газов, содержащих высокие концентрации сероводорода (H_2S) и опасных загрязнителей воздуха, таких как н-гексан, бензол, толуол, этилбензол и ксилолы. Кроме того, растущее

беспокойство по поводу глобального потепления привело к изучению выбросов метана, идентифицированного как парниковый газ.

Изложение теории

В соответствии с уравнением Бернулли, если никакая работа не выполняется на протекающей жидкости без трения, ее энергия из-за давления и скорости остается постоянной во всех точках вдоль линии тока. В результате увеличение скорости всегда сопровождается снижением давления. Этот принцип может быть использован для сбора потока природного газа низкого давления с потоком рабочего газа высокого давления для уноса и сжатия до промежуточного давления.

Струйный эжектор Вентури - это устройство для смешивания и повышения давления, которое состоит из сопла и трубки Вентури. Сопло принимает движущуюся жидкость (например, природный газ) от источника высокого давления. Когда движущаяся жидкость проходит через струю, скорость увеличивается, а давление уменьшается. Увеличенная скорость плюс пониженное давление вызывают всасывание вокруг сопла. Низкое давление вокруг сопла втягивается в движущий поток и смешивается с ним. Вентури состоит из участка трубопровода, диаметр которого у горла сужается, а затем расширяется у его конечного конца. Этот увеличенный диаметр на конечном конце вызывает уменьшение скорости смешанных жидкостей и увеличение давления. Вентури преобразует высокоскоростной струйный поток в промежуточное давление для подачи в систему для этого промежуточного давления.

Описание и применение оборудования и процессов

Струйные эжекторы Вентури используют кинетическую энергию в движущемся газе высокого давления для создания вакуума, который может увлекать и смешивать поток другого исходного газа. Рабочий газ и исходный газ смешиваются в струйном эжекторе Вентури, повышаясь до промежуточного давления, когда газовая смесь направляется в систему низкого давления. Полученная газовая смесь может впрыскиваться во

всасывание компрессора, сепаратора низкого давления, системы топливного газа или факела. Таким образом, делая установку замкнутой системой, которая уменьшает или устраняет выбросы отходящего газа.

Информация, необходимая для проектирования струйного эжектора Вентури, включает:

- Рабочее давление системы низкого давления (например, давление всасывания каждой ступени компрессора повышения давления на месте).
- Рабочее давление газовой системы высокого давления.
- Источники газа высокого давления (например, нагнетание компрессора, газа высокого давления в и из контактной башни блока дегидратации гликоля).
- Текущий и будущий расчетный объем газа, который будет сжатым дожимным компрессором (необходим для обеспечения доступной мощности для сжатия газа среднего давления из струйного эжектора Вентури).
- Количество резервной мощности, доступной для дожимного компрессора для сжатия газа среднего давления из струйного эжектора Вентури.
- Размеры резервуара, рабочее давление резервуара, расположение и размеры вентиляционного трубопровода.
- План участка с расположением существующих резервуаров, компрессоров и трубопроводов.
- Объем газа, извлеченного путем существующего механического восстановления паров.

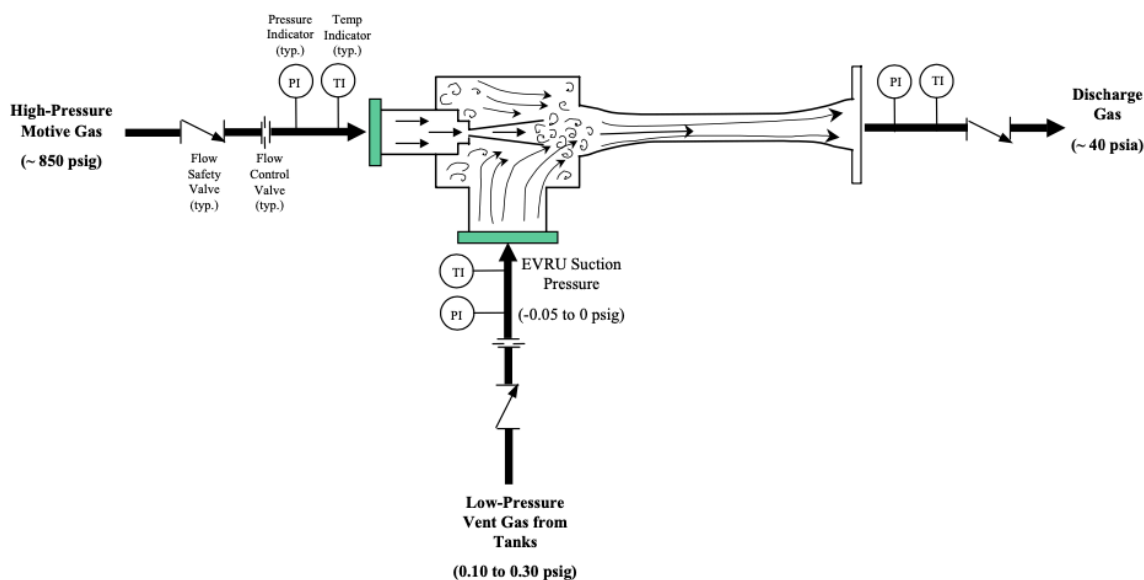


Рисунок 7 – Принцип работы эжектора

2.8 Утилизация попутного нефтяного (факельного) газа

В нефтедобывающей отрасли разведка, добыча и переработка нефти осуществляется на разных стадиях, что приводит к выделению газов на каждой стадии. Эти газы имеют различное давление в диапазоне от газов высокого давления (НР), которые отделяются во время геологоразведочных работ и добычи сырой нефти, и известны как попутные газы и газы низкого давления (LP), выделяемые во время операций обработки, и известны как остаточные газы [32]. Хотя эти газы признаны значительным источником энергии и доходов, такие факторы, как низкое давление, предельные нормы, удаленные места добычи, очень высокие затраты на разработку месторождения и серьезные ограничения по пространству (для морских объектов), создают проблему для рентабельного извлечения этих газов. Сжигание этих газов в атмосфере обеспечивает безопасность нефтяных или газовых буровых установок от избыточного давления, но вызывает выброс парниковых газов в атмосферу.

Различные распространенные методы минимизации сжигания:

- а) технология превращения газа в жидкость (GTL), посредством которой эти газы превращаются в углеводороды с более длинной

цепью, которые можно продавать напрямую или смешивать с дизельным топливом;

- b) сжатие и впрыск в трубопроводы;
- c) производство электроэнергии или пара с использованием газовой турбины или других газовых устройств;
- d) сжатие и закачка в пласт.

Эжектор - очень простое устройство, работающее на эффекте Вентури (частный случай принципа Бернулли). Он состоит из первичного сопла, вторичного сопла, всасывающей камеры, смесительной трубки (горловины) и диффузора, как показано на рисунок 8 (а). Первичный или рабочий флюид высокого давления из скважин высокого давления проходит через первичное сопло, создавая высокоскоростную струю, создавая область всасывания впереди нее. Это создает благоприятный градиент давления во всасывающей камере, вызывая захват вторичный или всасывающий флюид. Первичный и вторичный флюид смешиваются в смесительной камере, передавая импульс и энергию. Затем смесь поступает в диффузор, где расширение потока приводит к повышению статического давления. Давление на выходе диффузора находится на промежуточном уровне между НР и LP. Так вторичный флюид уносится и сжимается в эжекторе.

Схема восстановления низконапорного газа показана на рисунок 8 (б). Если давление на выходе смеси после восстановления меньше, чем требуется для транспортных трубопроводов или сепаратора, можно использовать последовательно несколько эжекторов. Разряд первого эжектора служит вторичной жидкостью для следующего эжектора, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто желаемое повышение давления [33]. Использование жидкости в качестве первичного флюида является предпочтительным, так как это приводит к более высокому коэффициенту увлечения из-за большой разницы в плотности между рабочими жидкостями, что приводит к высокой площади поверхности раздела и передаче импульса.

Кроме того, размер газожидкостного эжектора сравнительно меньше, чем газового эжектора.

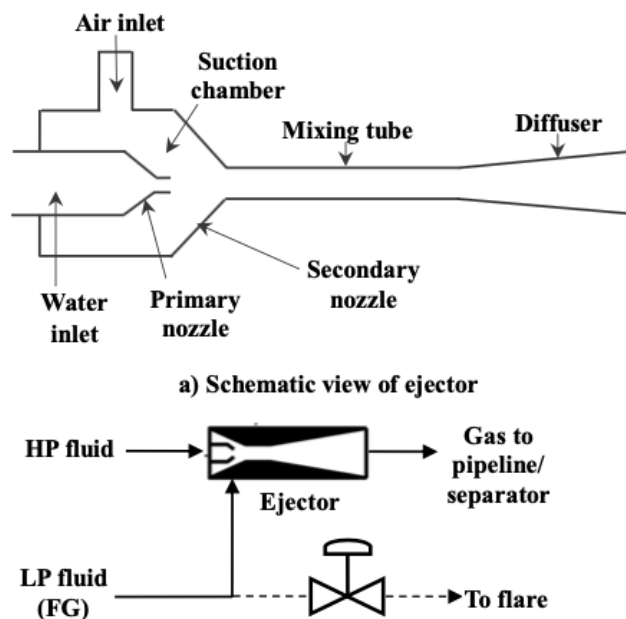


Рисунок 8 – Схема применения эжектора для утилизации ПНГ

Большая часть более ранних работ по анализу производительности эжектора была основана на эмпирических корреляциях и эксперименте.

Хотя эти эмпирические методы были очень просты и давали достаточно точные результаты, полученные корреляции были специфичны для конкретной схемы и могут быть неприменимы для других. Кроме того, физика локального потока и влияние различных параметров, влияющих на его производительность, не могут быть объяснены явно с использованием этих методов. В последнее время, с развитием методов CFD наряду с высокопроизводительными вычислениями, параметрическое исследование различных факторов, влияющих на производительность эжектора, может систематически выполняться численно. Ли и Ли [33], Ядав и Патвардхан [34], Баламуруган и др., [35] и Кандакуре и др., [36] использовали методы CFD в сочетании со своими экспериментами для анализа влияния различных геометрических, параметров среды и потока на его производительность.

3. Расчет эжектора для утилизации попутного нефтяного газа

3.1 Принцип работы

Принцип работы жидкостно-газового эжектора показан на рисунке 1, рабочий (активный) поток с большой скоростью устремляется из соплового устройства 1 в приемную камеру 2 и увлекает за собой пассивный поток, который имеет более низкое давление. Затем активный и пассивный поток поступает в смесительную камеру 3, где происходит их интенсивное смешивание. До смесительной камеры 3 поток выглядит, как струя жидкости, окруженная газом и частично или полностью разбитая на капли. Процесс дробления струи жидкости на капли и их обмена движения с эжектируемым воздухом происходит в момент продвижения вдоль рабочей камеры (камеры смешения) 3, распределяясь по ее поперечному сечению. После рабочей камеры поток представляет собой жидкое фазовое состояние, в котором равномерно рассредоточены пузырьки газа.

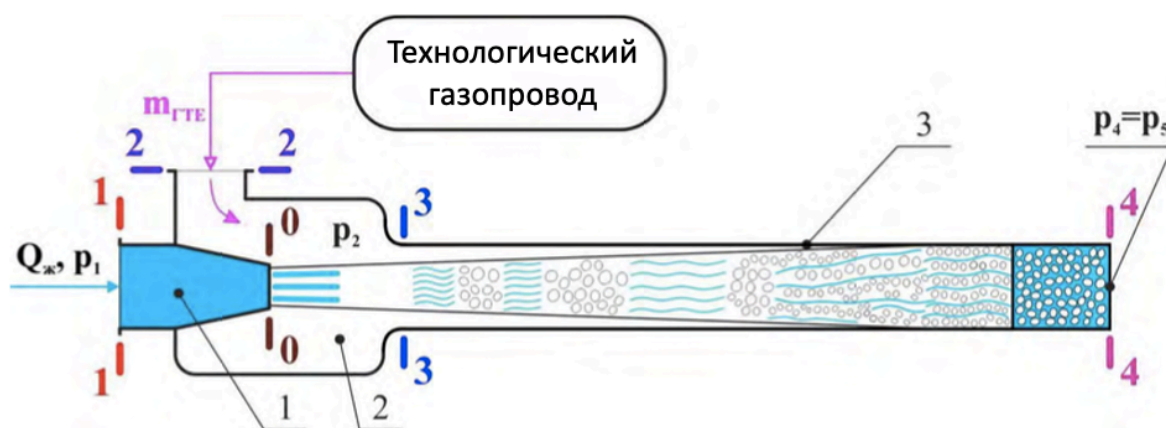


Рисунок 9 – ЖГЭ традиционного исполнения

Отличным замечание является то, что эпюра скорости при входе в камеру смешения жидкостно-газового эжектора является неравномерной. При этом, вблизи стенки смесительной камеры находится минимум, а на границе жидкой струи максимум скорости (см. рисунок 10).

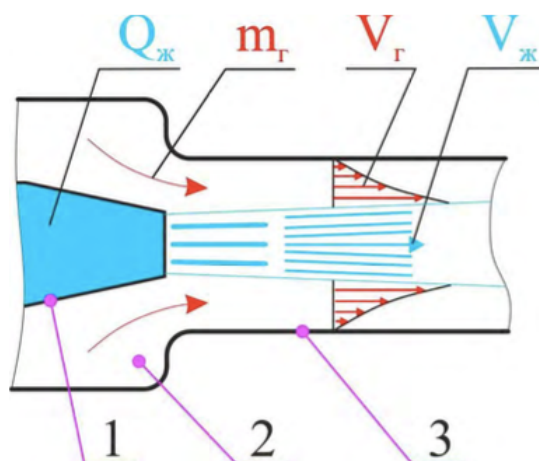


Рисунок 10 – Эпюра скорости газового потока при входе в рабочую камеру флюидов.

3.2 Исходные данные

Таблица 3 – Исходные данные

Параметр	Значение
Давление активного потока	0,4 МПа
Расход активного потока	0,3056 м ³ /с
Давление пассивного потока	0,005 МПа
Температура пассивного потока	313, °К

3.3. Схема подключения эжектора

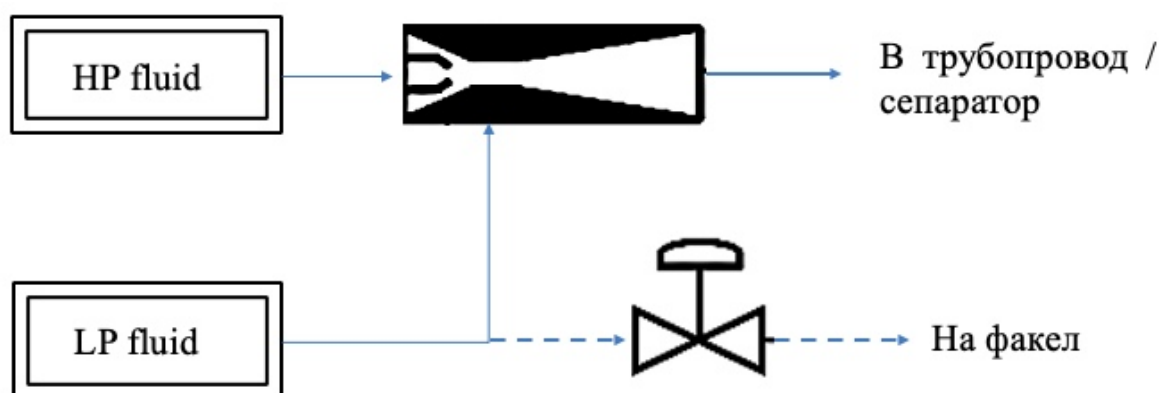


Рисунок 11 – Схема подключения жидкостно-газового эжектора

3.4 Расчет характеристик эжектора

Найдем соотношение давлений на сопловом устройстве по формуле [38]:

$$\varepsilon_{12} = \frac{p_1}{p_2}, \quad (1)$$

где $p_1 = 0,4$ МПа – давление питания (активный поток давления перед соплом).

Подставляя значения в формулу, получаем:

$$\varepsilon_{12} = \frac{0,4}{0,005} = 80. \quad (2)$$

Далее находится степень сжатия по формуле [38]:

$$\varepsilon_{52} = \frac{p_5}{p_2},$$

где $p_5 = p_{\text{атм}} = 0,101$ МПа – противодавление.

Подставляя значения в формулу (2):

$$\varepsilon_{52} = \frac{0,101}{0,005} = 20,2.$$

Параметр струи находится по следующей формуле [38]:

$$\Gamma = 2 \cdot \varphi^2 (\varepsilon_{12} - 1), \quad (3)$$

Где $\varphi = 0,97$ – коэффициент скорости соплового устройства [38].

Подставляя значения в формулу (3), получается:

$$\Gamma = 2 \cdot 0,97^2 (80 - 1) = 148,66.$$

Следующим этапом находится скорость истечения жидкости на срезе выходного сечения соплового устройства:

$$u_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{p_2 \cdot \Gamma}{\rho_{\text{ж}}}} \quad (4)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность флюида активного потока (воды).

Подставляя значения в формулу (4):

$$v_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^3 \cdot 184,66}{1000}} = 27,27 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Изменение скорости жидкости на срезе соплового устройства в зависимости от давления p_2 , незначительно. В процентном соотношении эта разница составляет 0,22%.

Далее находится площадь выходного сечения отверстия сопла [38]:

$$S_0 = \frac{Q_{ж}}{v_{ж}}, \quad (5)$$

Подставляя значения в формулу (5):

$$S_0 = \frac{0,3056}{27,27} = 0,01 \text{ м}^2$$

Форма сопла представляет собой сужающийся конус, следовательно, площадь струи равна площади отверстия сопла:

$$S_0 = S_c = 0,01 \text{ м}^2 \quad (6)$$

Следующим этапом находится скорость жидкости на входе в рабочую камеру [38]:

$$v_{ж3} = \frac{Q_{ж}}{S_c}, \quad (7)$$
$$v_{ж3} = \frac{0,3056}{0,01} = 30,56 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость воздушного потока на входе в рабочую камеру находится по формуле [38]:

$$v_{г3} = \phi \cdot v_{ж3}, \quad (8)$$

где $\phi = 0,9$ – коэффициент скольжения [38].

Подставляя значения в формулу (8):

$$v_{г3} = 0,9 \cdot 30,56 = 27,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коэффициент гидравлического трения принимаем $\lambda = 0,015$ [38].

Экстремальные характеристики, указывающие предельные режимы работы, представлены на рисунке 12.

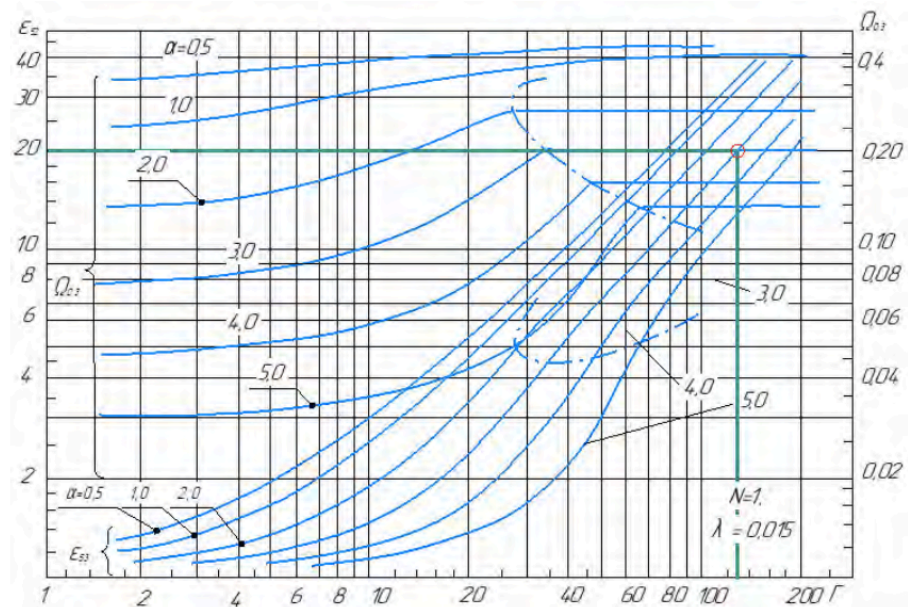


Рисунок 12 – характеристики эжектора [38].

Согласно рисунку 12, определяем объемный коэффициент эжекции $\alpha = 3$ и относительную площадь сопла $\Omega = 0,21$.

Далее уточняется площадь поперечного сечения рабочей камеры [38]:

$$S_3 = \frac{S_c}{\Omega}, \quad (9)$$

Подставляя значения в формулу (9):

$$S_3 = \frac{0,01}{0,21} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Диаметр отверстия сопла эжектора находится согласно формуле:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}}, \quad (10)$$

Подставляя значения в формулу (10):

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{3,14}} = 0,1 \text{ м}.$$

Сопло имеет коническую форму, следовательно, струя имеет такие же формы и размеры, диаметр струи равен диаметру сопла.

$$d_0 = d_c = 0,1 \text{ м}. \quad (11)$$

Далее находится диаметр рабочей камеры:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_3}{\pi}}, \quad (12)$$

Подставляя значения в формулу (12):

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05}{3,14}} = 0,25 \text{ м.}$$

Объемный расход эжектируемого газа находится по формуле [38]:

$$Q_{\Gamma} = \alpha \cdot Q_{\text{ж}}, \quad (13)$$

Подставляя значения в формулу (13):

$$Q_{\Gamma} = 3 \cdot 0,3056 = 0,9168 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 3300,48 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Плотность эжектируемого газа в камере смещения определяется по формуле:

$$\rho_{\Gamma 2} = \frac{p_2}{R \cdot T}, \quad (14)$$

где $p_2 = 0,005$ МПа – давление всасывания (в приемной камере);

$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}$ – универсальная газовая постоянная;

$T = 313$ К – температура эжектируемого (отсасываемого) газа.

Подставляя значения в формулу (14):

$$\rho_{\Gamma 2} = \frac{5 \cdot 10^3}{287 \cdot 313} = 0,06 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Массовый расход эжектируемого газа находится по формуле:

$$m_{\Gamma} = \rho_{\Gamma 2} \cdot Q_{\Gamma} \quad (15)$$

Подставляя значения в формулу (15):

$$m_{\Gamma} = 0,06 \cdot 0,9186 = 0,55 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 198 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Длина рабочей камеры находится по формуле [38]:

$$L_{34} = 28 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{p_2}{p_5} \right) \cdot d_3 \quad (16)$$

Подставляя значения в формулу (16):

$$L_{34} = 28 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{0,005}{0,101} \right) \cdot 0,25 = 6,8 \text{ м}$$

Уточняем длину рабочей камеры по формуле [38]:

$$L_{34} = d_3 \cdot \frac{c \cdot \alpha}{\Omega}, \quad (17)$$

где $c = 11 \dots 12$ – коэффициент пропорциональности.

Подставляя значения в формулу (17):

$$L_{34} = 0,25 \cdot \frac{11 \cdot 3}{0,21} = 39,3 \text{ м.}$$

Так как соотношение длины рабочей камеры L_{34} , к диаметру рабочей камеры d_3 находится в диапазоне $10 \dots 35$ [38], то наиболее предпочтителен является результат формулы (17), т.е. $L_{34} = 6,8 \text{ м.}$

Расчет соплового устройства:

Определим необходимый размер соплового устройства. При известном значении диаметра отверстия сопла, длина определяется по формуле [38]:

$$\frac{l_0}{d_0} = 3,0 \dots 4,0. \quad (18)$$

Подставляя значения в формулу (18) и беря среднее значение выборки:

$$l_0 = 0,1 \cdot 3,5 = 0,35 \text{ м.}$$

Расстояние среза сопла от рабочей камеры (обратное расстояние) определяется по формуле [38]:

$$l_c \leq 2d_0 \quad (19)$$

Подставляя значения в формулу (19):

$$l_c = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ м.}$$

Принимаем значения сужения угла сопла $\theta = 16^\circ$.

Следующим этапом является нахождение полного давления потока жидкости перед сопловым устройством в подводящем патрубке [38]:

$$\overline{p}_1 = p_1 + \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot v_{\text{ж}}^2}{2} \quad (20)$$

Подставляя значения в формулу (20):

$$\overline{p}_1 = 400 \cdot 10^3 + \frac{1000 \cdot 27,27^2}{2} = 0,77 \text{ МПа.}$$

Плотность газа в конце рабочей камеры находится по формуле:

$$\rho_{г5} = \frac{p_5}{R \cdot T}, \quad (21)$$

Подставляя значения в формулу (21):

$$\rho_{г5} = \frac{101000}{287 \cdot 313} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Объемный расход газа в конце рабочей камеры находим по формуле:

$$Q_{г5} = \frac{m_{г}}{\rho_{г5}} \quad (22)$$

Подставляя значения в формулу (22):

$$Q_{г5} = \frac{198}{1,2} = 165 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 0,046 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Плотность всей смеси в конце рабочей камеры находится по формуле:

$$\rho_{\text{смеси}} = \frac{\rho_{г5} \cdot Q_{г5} + \rho_{ж} \cdot Q_{ж}}{Q_{г} + Q_{ж}} \quad (23)$$

Подставляя значения в формулу (23):

$$\rho_{\text{смеси}} = \frac{1,2 \cdot 0,046 + 1000 \cdot 0,3056}{0,046 + 0,3056} = 869,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Объемный расход смеси считается по формуле:

$$Q_{\text{смеси}} = Q_{г5} + Q_{ж} \quad (24)$$

Подставляя значения в формулу (24):

$$Q_{\text{смеси}} = 0,046 + 0,3056 = 0,3516 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Скорость смеси в конце рабочей смеси находится по формуле:

$$v_{\text{смеси}} = \frac{Q_{\text{смеси}}}{S_3} \quad (25)$$

Подставляя значения в формулу (25):

$$v_{\text{смеси}} = \frac{0,3516}{0,05} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

По следующей формуле находим полное давление смеси в конце рабочей камеры [38]:

$$\overline{p}_5 = p_5 + \frac{\rho_{\text{смеси}} \cdot v_{\text{смеси}}^2}{2} \quad (26)$$

Подставив значения в формулу (26):

$$\overline{p_1} = 0,101 \cdot 10^6 + \frac{869,3 \cdot 6^2}{2} = 0,117 \text{ МПа.}$$

Заключительным этапом является нахождение эффективности (коэффициента полезного действия) жидкостно-газового эжектора по формуле [38]:

$$\eta = \frac{m_r \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_5}{p_2}\right) + k_{\text{ост}}(\overline{p_5} - p_2)}{Q_{\text{ж}} \cdot (\overline{p_1} - p_2)}, \quad (27)$$

где $k_{\text{ост}} = 1$ – коэффициент полезного использования остаточной энергии активного потока [38].

Подставив значения в формулу (27):

$$\eta = \frac{0,055 \cdot 287 \cdot 313 \cdot \ln\left(\frac{0,101}{0,005}\right) + (117,24 - 5) \cdot 10^3}{0,3056 \cdot (7,72 - 5) \cdot 10^3} = 0,2032$$

Следовательно, КПД:

$$\eta = 20,32\%$$

Таблица 4 – Параметры жидкостно-воздушного эжектора

P_2 , МПа	ρ_r , кг/м ³	m_r , кг/с	КПД, %	Q_r , м ³ /с	Коэффициент скольжения
0,003	0,039	0,036	19,05	0,919	0,9
0,004	0,048	0,044	19,64		
0,005	0,059	0,055	20,32		
0,01	0,119	0,109	22,89		
0,02	0,238	0,219	25,44		
0,03	0,357	0,328	26,01		
0,04	0,476	0,437	25,25		
0,045	0,535	0,492	24,47		
0,055	0,654	0,601	22,22		
0,06	0,714	0,656	20,79		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент 30%; коэффициент дополнительной заработной платы 15%; коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; районный коэффициент 130%.
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 18% Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение трудоемкости выполнения работ, разработка плана и графика выполнения проекта (графика Ганта).
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план график
4. Сравнительная оценка характеристик разработки
5. Бюджет затрат НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич		

4.ФИНАНСОВЫЙ

МЕНЕДЖМЕНТ,

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Научное исследование данной диссертации заключается в исследовании эффективности внедрения инжекторных технологий в технологические схемы подготовки газа и газового конденсата. В данной главе проведена оценка перспективности и успешности научно-исследовательской работы.

Для достижения цели необходимо решить задачи такие как:

- анализ конкурентных технических решений
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета затрат;
- определение ресурсной эффективности исследования.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации, специализирующиеся в нефтегазовой отрасли, в частности – газодобывающие компании. Для данных предприятий разрабатывается модернизация АС блока подготовки газа (эжектора), установки комплексной подготовки газа УКПГ.

В таблице 4.1 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Направление деятельности			
	Проектирование строительства	Выполнение проектов строительства	Разработка АСУ ТП	Внедрение SCADA систем
Мелкая	+	+	+	-
Средняя	+	+	+	+

Крупная	+	+	+	+
---------	---	---	---	---

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка АСУ ТП и внедрение SCADA-систем для средних и крупных компаний.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для данного анализа строится оценочная карта, для которой отобраны два конкурентных товара: SCADA-система и существующая система управления АСУ ТП. Критерии для оценки и сравнения ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес крите- рия	Баллы			Конкуренто- способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Эргономичность	0,13	4	5	5	0,52	0,65	0,65
2. Надежность	0,08	5	4	5	0,40	0,32	0,40
3. Простота эксплуатации	0,10	4	5	4	0,40	0,50	0,40
4. Энергоэкономичность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Помехоустойчивость	0,09	3	5	5	0,27	0,45	0,45
6. Потребность в ресурсах памяти	0,06	5	3	3	0,30	0,18	0,18
7. Функциональная мощность	0,08	5	4	3	0,40	0,32	0,24
8. Повышение производительности	0,10	5	3	3	0,50	0,30	0,30
9. Безопасность	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
3. Стоимость	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
4. Долговечность	0,08	4	3	3	0,36	0,24	0,24
Итого	1	56	50	50	4,88	4,46	4,53

Эти критерии основаны на выбранных объектах сравнения на основе их экономических и технических характеристиках разработки, создания и эксплуатации.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,13 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 + \dots + 0,08 \cdot 4 = 4,88$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из данного анализа конкурентоспособность разработки равна 4,88, а у других двух аналогов 4,46 и 4,53 соответственно. Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что разрабатываемая модернизация АС блока подготовки газа (эжектора), установки УКПГ является наиболее эффективной. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как меньшее увеличение производительности, более низкая устойчивость и надежность, высокая цена и низкий срок эксплуатации.

4.1.2 SWOT-анализ

Таблица 4.3 – Перекрестный SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	научно-исследовательского проекта:	научно-исследовательского проекта:
	С1. Экономичность и энергоэффективность проекта	Сл1. Отсутствие работающего прототипа
	С2. Индивидуальность проекта;	Сл2. Проблемы поставки оборудования
	С3. Более низкая стоимость	Сл3. Проблемы загрязнения окружающей среды;
	С4. Актуальность разработки	Сл4. Отсутствие рассчитанной

		математической модели проекта.
Возможности: В1. Возможность экспортировать; В2. Обеспечение занятости населения; В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Большой потенциал применения обуславливается введением системы управления, мало распространенной на территории РФ и находящейся на уровне лучших зарубежных аналогов. Использование существующего программного обеспечения позволяет не тратить время и деньги на создание уникального ПО.	Санкции, наложенные на РФ, и высокий курс иностранных валют будут ограничивать появление новых иностранных технологий на российском рынке.
Угрозы: У1. Риски техногенных аварий; У2. Отсутствие широкого спроса на разработки У3. Изменение государственной политики в отношении переработки и добычи углеводородов;	Новая система управления и актуальность разработки не сказываются на спросе Противодействие со стороны конкурентов не повлияет на наличие опытного руководителя.	Медленный ввод данной системы в эксплуатацию позволит переждать возможных скачков на рынке спроса.

У4. конкуренция технологий производства	Развитая		
--	----------	--	--

С помощью этих данных представляется возможным выявить проблемы, стоящие перед разработкой проекта, а также определить направление использования существующего потенциала для их разрешения. С учетом слабых и сильных сторон проекта, можно сказать, что современные высокие технологии позволяют выполнять разработку и модернизацию подобных технологий с учетом всех нюансов, однако для этого нужен квалифицированный персонал. Также нынешняя политика государства не говорит о возможном ужесточении законов в отношении нефтегазовых компаний.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для планирования научно-исследовательской работы ставятся следующие задачи:

- установление участников каждой работы;
- обозначение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для проведения научного исследования на тему «Повышение эффективности технологической схемы подготовки газа и газового конденсата путем внедрения инжекторных технологий» формируется перечень основных этапов и работ, проводится распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и инженер. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Расчеты и разработка внедрения инжекторных технологий	3	Изучение объекта исследования	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
	5	Описание условий эксплуатации	Инженер
	6	Изучение имеющихся вариантов	Инженер
	7	Разработка схемы	Инженер
	8	Расчет геометрических показателей	Инженер, научный руководитель
	9	Расчет показателей эффективности	Инженер, научный руководитель
	10	Анализ наработанного материала	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	12	Составление пояснительной записки	Инженер
	13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Так как трудоемкость выполнения научной разработки зависит от множества факторов, она является недостаточно точной и оценивается экспертным путем в человеко-днях. Для определения среднего значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad t_{ож2} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \approx 7 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож3} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 9}{5} = 7,8 \approx 8 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad t_{ож4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 2,8 \approx 3 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad t_{ож6} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \approx 3 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож7} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \approx 4 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad t_{ож8} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \approx 7 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож9} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,6 \approx 7 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож10} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 2,8 \approx 3 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож11} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{5} = 3,4 \approx 4 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож12} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \approx 3 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

$$t_{ож13} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \approx 3 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Для наиболее удобной и наглядной реализации данного проекта строится ленточный график исполнения научных работ в виде диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальную ленточную диаграмму, в которой работы по теме представлены протяженными во времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для более удобного построения графика, длительность каждого из этапов работ переводится из рабочих дней в календарные. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

при шестидневной рабочей неделе для руководителя:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 68} = 1,23,$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

при пятидневной рабочей неделе для инженера:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	науч. рук-ль	инж-р	науч. рук-ль	инж-р
1. Составление и утверждение технического задания	1	2	2	2	-	2,5	-
2. Изучение и подбор материалов и нормативных документов	6	8	7	-	7	-	10
3. Изучение объекта исследования	7	9	8	-	8	-	12
4. Календарное планирование работ	1	2	2	2	-	2,5	-
5. Описание условий эксплуатации	3	5	3	-	3	-	4
6. Изучение имеющихся вариантов	2	3	3	-	3	-	4
7. Разработка схемы использования	3	5	4	-	4	-	6
8. Расчет геометрических показателей	6	8	7	2	7	9	10
9. Расчет показателей эффективности	5	8	7	2	7	9	10

10. Обработка полученных результатов	3	5	3	3	3	4	4
11. Экономические расчеты	3	4	4	-	4	-	6
12. Безопасность и экологичность проекта	2	3	3	-	3	-	4
13. Составление пояснительной записки	2	3	3	-	3	-	4
Итого	44	66	56	11	45	27	74

На основании таблицы 4.5 строим календарный план-график, представленный в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Календарный план-график

№	Вид работы	Исполнители	Т _{кi} (кал · дн.)	Продолжительность выполнения работ									
				Февраль			Март			Апрель			Май
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3										
2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	Инженер	10										
3	Изучение объекта исследования	Инженер	12										
4	Календарное планирование работ	Руководитель	3										
5	Описание условий эксплуатации	Инженер	4										
6	Изучение имеющихся вариантов	Инженер	4										
7	Разработка схемы эксплуатации	Инженер	6										
8	Расчет геометрических показателей	Руководитель, Инженер	10										
9	Расчет показателей эффективности	Руководитель, Инженер	10										
10	Обработка полученных результатов	Руководитель, Инженер	4										
11	Экономические расчеты	Инженер	6										
12	Безопасность и экологичность проекта	Инженер	4										
13	Составление пояснительной записки	Инженер	4										



- руководитель



- инженер

Для упорядочения и систематизации технических работ был разработан график занятости для научного руководителя и инженера, а также была составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе планирования бюджета НТИ в полной мере должны быть рассчитаны все виды расходов, связанные с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используются следующие затраты по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на амортизацию оборудования;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включается стоимость приобретаемого сырья и материалов, запасные части для ремонта оборудования и другие быстроизнашивающиеся предметы, необходимые для разработки проекта. Все материальные затраты определяются по формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м и т.д.);

Ц_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м и т.д.)

K_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

$$З_{\text{м}} = (1 + 0,2) \cdot ((30 \cdot 3) + (50 \cdot 4) + (270 \cdot 3)) = 1320 \text{ руб.}$$

4.3.2. Затраты на амортизацию оборудования

В данной статье рассчитываются затраты, связанные с приобретением специального ПО, который необходим для проведения работ по исследовательской теме. Расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет амортизации оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Программное электронное устройство (компьютер)	1	43000	43000
Итого				43000

В связи с длительностью использования, учитывается данная стоимость с помощью амортизации:

$$A = C_{\text{м}} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{T_{\text{кал.инж}}}{T_{\text{кал}}} = 43000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{74}{365} = 4359 \text{ руб.}$$

4.3.3. Полная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Величина основной зарплаты исполнителей рассчитывается из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов.

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где $Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата; T_p - суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Месячная зарплата научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p,$$

где $Z_{окл}$ - заработная плата по тарифной ставке; $k_{пр}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3; k_p - районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p = 36808 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 78936 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M}{T_k} = \frac{78936}{26} = 3036 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 3036 \cdot 11 = 33396 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 33396 = 5009 \text{ руб.}$$

$$Z_{II} = Z_{осн} + Z_{доп} = 33396 + 5009 = 38405 \text{ руб.}$$

По аналогии рассчитаем заработную плату инженера за данную исследовательскую работу:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 36465 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M}{T_k} = \frac{36465}{22} = 1657 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1657 \cdot 45 = 74565 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 74565 = 11185 \text{ руб.}$$

$$З_{II} = З_{осн} + З_{доп} = 74565 + 11185 = 85750 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Страховые отчисления рассчитываются по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,30 \cdot (74565 + 11185) = 25725 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 01.01.2017 гл.34 НК РФ размер страховых взносов равен 30,2%.

В таблице 4.8 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 4.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	33396	5009
Инженер	74565	11185
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	11521	
Инженер	25725	

Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя другие затраты, не включенные в предыдущие статьи расходов. Они определяются по следующей формуле:

$$\begin{aligned} З_{внеб} &= k_{нр} \cdot З_{проч} = 0,16 \cdot (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб} + А) = \\ &= 0,16 \cdot (107961 + 16194 + 37246 + 4359) = 26522 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы равный 16%.

Формирование бюджета затрат НТИ

Бюджет затрат проекта защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции, который основывается на величине затрат научно-технического исследования.

В таблице 4.9 приведен бюджет затрат на научно-техническое исследование по каждому варианту исполнения.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля в %
1. Материальные затраты	1070	0,55
2. Затраты на основную заработную плату исполнителей темы	107961	55,8
3. Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей темы	16194	8,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	37246	19,3
5. Амортизация	4359	2,25
6. Накладные расходы	26522	13,7
7. Бюджет затрат НТИ	193352	100

4.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность научной разработки можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, определяется экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Сравнительная оценка характеристик разработки

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Простота эксплуатации	0,10	3

2. Надежность	0,21	5
3. Энергоэкономичность	0,14	4
4. Безопасность	0,15	5
5. Эргономичность	0,18	4
6. Простота эксплуатации	0,22	4
Итого	1,00	25

Интегральный показатель ресурсоэффективности для исследуемой разработки:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,10 \cdot 3 + 0,21 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,18 \cdot 4 + 0,22 \cdot 4 = 4,26$$

Рассчитанная оценка ресурсоэффективности разработки является достаточно высокой (4,26), что говорит об эффективности реализуемой разработки с позиции ресурсной эффективности.

4.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В итоге была доказана конкурентоспособность данной модернизации АС блока подготовки газа по сравнению с другими аналогичными разработками, был разработан график занятости, который ограничил выполнение работы в 74 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 193352 руб, большая часть которого тратится на зарплаты исполнителей проекта. Выполнение данного проекта и его реализация является значимой и эффективной. АС блок подготовки газа является эффективной разработкой и продолжает развиваться в таком направлении, как разработка более прочных и менее материалоемких конструкций. Благодаря этому упрощению производство станет менее затратным и более надежным.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

Повышение эффективности технологической схемы подготовки газа и газового конденсата путем внедрения инжекторных технологий

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: инжекторные технологии Область применения: установка комплексной подготовки газа и конденсата, блочная компрессорная станция низконапорных газов
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	ПБ 08-624-03. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. Конституция Российской Федерации.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу; – повышенный уровень шума и вибрации; – отклонения показателей климата на открытом воздухе; – повышенная загазованность рабочей зоны. Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током; – опасность механических повреждений.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: выброс вредных и токсичных веществ Гидросфера: загрязнение поверхностных и подземных вод Литосфера: утечка или разлив вредных и токсичных веществ
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: лесные пожары, возгорание ГСМ, техногенного характера, попадание молнии. Наиболее вероятные ЧС: по причине техногенного характера, попадания молнии.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич		

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность - ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров [40].

Объектом исследования является Мыльджинское нефтегазоконденсатное месторождение (МНГКМ), в частности Установка комплексной подготовки газа и конденсата (УКПГиК), блочная компрессорная станция низконапорных газов (БКС ННГ). В административном отношении расположена в Каргасокском районе Томской области, в 450 км к северо-западу от г. Томска. Ближайшим населенным пунктом является п. Мыльджино - в 20 км к северу.

Климат - континентальный, что проявляется в больших месячных и годовых колебаниях температуры воздуха. Температура воздуха в зимний период времени составляет в среднем от минус 20 до минус 25 0С, опускаясь иногда до минус 550С, летом температура поднимается до плюс 35 0С.

В соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [41] УКПГиК МНГКМ относится к опасному производственному объекту. Опасность связана с используемыми в процессе производства опасными веществами, необходимостью обслуживания оборудования, находящегося под высоким давлением, при низкой и высокой температурах, необходимостью работы во взрывоопасных и пожароопасных помещениях. Режим работы объекта - непрерывный круглосуточный.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Требования промышленной безопасности должны соблюдаться согласно Федеральному закону от 21.07.1997 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [41] и Постановлению Правительства РФ «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах» с использованием «Методических рекомендаций по организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах» РД 04-355-00 [42].

Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03 [40] установлены требования, процедуры и условия ведения работ при проектировании, строительстве, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации производственных объектов; конструировании, изготовлении, ремонте машин, механизмов, других технических устройств; разработке технологических процессов; подготовке и аттестации работников; организации производства и труда; взаимодействии Госгортехнадзора России с организациями по обеспечению безопасных условий производства и рационального использования природных ресурсов.

Способ работы на предприятии – вахтовый.

Возраст сотрудников составляет от 18 до 55 лет.

Государственные гарантии и компенсации лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, устанавливаются настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Для работников, выезжающих в районы крайнего Севера и приравненные к ним местности:

устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены

для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях;

предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих:

в районах крайнего Севера – 24 календарных дня, в местностях, приравненных к районам крайнего севера, - 16 календарных дней.

Дополнительные гарантии и компенсации указанным лицам могут устанавливаться законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, коллективными договорами, соглашениями, локальными нормативными актами исходя из финансовых возможностей соответствующих субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и работодателей.

Обработка персональной информации работника подразумевает соблюдение определенных правил. Целью соблюдения правил является обеспечение прав и свобод гражданина и человека. Выполнять требования по обработке должны работодатель и его представитель, выполняющий эти обязанности. Требования к защите персональных данных работника установлены в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

5.2 Производственная безопасность

Выполнение работ на БКС ННГ сопровождается вредными и опасными факторами согласно [43], приведенными в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (Гост 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей климата на открытом воздухе	+	+	+	Требования к уровню шума устанавливаются

Повышенный уровень шума и вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.003–2014 [44] Требования к вибрации устанавливаются ГОСТ 12.1.012–2004 [45] Классификация и требования к вредным веществам приведены в ГОСТ 12.1.007–76 [48] Требования к воздуху рабочей среды устанавливаются ГОСТ 12.1.005–88 [46] Предельно допустимые значения напряжений устанавливаются ГОСТ ИЕС 61140-2012 [47]
Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу;			+	
Повышенная загазованность рабочей зоны.			+	
Опасность поражения электрическим током;		+	+	
Опасность механических повреждений.		+	+	

Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия.

Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования в процессе работы, что может вызвать отравление парами углеводородов.

Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, продуктов, готовой продукции и отходов производства приведены в таблице 5.2 [40].

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

- допуска персонала, имеющего специальную подготовку, определенную требованиями норм и правил и квалификацию;
- безопасных приемов и методов труда;
- мер газовой и пожарной безопасности;
- по применению средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения с отработкой приемов их использования,

– к спецодежде из термостойких и антистатичных материалов и индивидуальным средствам защиты.

Таблица 5.2 – Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, продуктов, готовой продукции и отходов производства

№	Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Агрегатное состояние	Класс опасности	Температура, °С			Концентр. пределы распространения пламени, % об.		Характеристика токсичности	ПДК в воздухе рабочей зоны произв. помещений, мг/м ³
				Вспышки	Воспламенения	Самовоспламенения	Нижний	Верхний		
1	Природный газ	газ	4	-188	–	550	3	15	Наркотическое воздействие, удушье	300
2	Нестабильный газовый конденсат	ж	4	-44	–	286	2,5	5,2	Наркотическое воздействие	300
3	Стабильный газовый конденсат	ж	4	-23	–	233	4,9	5,2	Наркотическое воздействие	300
4	Смесь пропана и бутана технически х	ж	4	-74	–	450	2,0	9,1	Обморожение	300
5	Метанол	ж	3	6	13	440	7,3	36	Опьянение, потеря зрения	5

Повышенный уровень шума и вибрации

В настоящее время эксплуатация подавляющего большинства технологического оборудования неизбежно связана с возникновением шумов и вибраций различной частоты и интенсивности, оказывающих весьма неблагоприятное воздействие на организм человека.

Шум - это совокупность звуков различной частоты и интенсивности, возникающих в результате колебательного движения частиц в упругих средах (твёрдых, жидких, газообразных).

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-2014 [44]. В соответствии с требованиями ГОСТ громкость ниже 80 дБ обычно не влияет на органы слуха.

Длительное действие шума > 85 дБ приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

Вибрация - это механические колебания твёрдых тел - частей аппаратов, машин, оборудования, воспринимаемое организмом человека как сотрясения. Часто вибрации сопровождаются слышимым шумом.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентирует ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [45].

Нормируемые параметры вибрации – среднеквадратичные значения виброскорости в м/с или её логарифмические уровни в дБ в октавных полосах частот. Базовая частота предельного спектра для общей вибрации равна 63 Гц (95 дБ), для локальной - 125 Гц (110 дБ).

В производственных условиях с целью предотвращения вредного воздействия шума и вибрации на организм человека необходимо всегда добиваться, чтобы уровни шума и вибрации не превышали допустимых значений. Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- уменьшение шума и вибрации в источнике их образования;
- изоляция источников шума и вибрации средствами звукоизоляции и звукопоглощения, виброизоляции и вибродемпфирования; – применение средств индивидуальной защиты.

Средства защиты от шума подразделяют на две группы: вкладыши, вкладываемые в устье слухового аппарата, и наружные противошумы - наушники, шлемы, накладываемые на ушную раковину. Наиболее эффективны вкладыши «Беруши», позволяющие снижать уровень звука на различных частотах от 15 до 30 дБ.

Отклонение показателей климата на открытом воздухе

Климат представляет комплекс физических параметров воздуха

(температура, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационное излучения солнца, величина атмосферного давления), влияющих на тепловое состояние организма.

При нормировании параметров климата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной плюс 10°C и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше плюс 10°C.

Работающие в зимний период года должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами. При температуре воздуха минус 40 °C и ниже необходима защита органов дыхания и лица. В летний период работающие должны быть обеспечены головными уборами исключающие перегрев головы от солнечных лучей.

Постановление Администрации Томской области от 11.02.2011 г. №29а регламентирует следующие погодные условия (если работы круглогодичные), при которых работы на открытом воздухе работодателями приостанавливаются (таблица 5.3) [46].

Таблица 5.3 – Условия организации работ в холодный период года на открытом воздухе

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °C
0	-36
0–5	-35
5–10	-34
Свыше 10	-32

Повышенная загазованность рабочей зоны

Главным источником загазованности рабочей зоны является скопление вредных и взрывопожароопасных веществ, образующиеся при работе, связанной с осмотром, чисткой и ремонтом технологического оборудования, а также с установкой и снятием заглушек, что может вызвать отравление парами углеводородов и ожоги при возгорании смеси. Также выделение газов на наружных площадках и в помещениях может произойти через не плотности

фланцевых соединений, пропуск газа в сальниках, из-за разрушений трубопроводов, не плотностей в оборудовании.

Таблица 5.4 – Концентрационные пределы воспламенения индивидуальных углеводородов, входящих в состав газа

Углеводороды	Концентрационные пределы воспламенения, % (по объему).
Метан	5 – 15
Этан	2,9 – 15
Пропан	2,1 – 9,5
Бутан	1,9 – 9,1
Пентан	1,4 – 7,8
Гексан	1,2 – 7,5

В каждом отдельном случае обнаружения утечек определяется характер пропуска, объем выделяемого углеводородного газа, направления ветра, серьезность пропуска.

В целях исключения аварий по вине обслуживающего персонала к работе допускаются работники, имеющие специальную подготовку, прошедшие обучение правилам техники безопасности.

В целях предупреждения вредного воздействия углеводородных газов на здоровье человека предусмотрены защитные приспособления, осуществляется контроль воздушной среды.

Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Опасный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной травмы, острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

Опасность поражения электрическим током

Напряжение электропитания БКС ННГ - трехфазное 380/220 В, частотой 50 Гц по двум вводам от двух независимых источников - основное напряжение - по I категории.

Выполнено заземление оборудования, обеспечивающее безопасность обслуживания персонала при эксплуатации и ремонте, молниезащита объекта.

Опасность воздействия электрического тока на организм человека зависит от электрического сопротивления тела и приложенного к нему напряжения, силы тока, длительности его воздействия, путей прохождения тока через человека, рода и частоты тока, индивидуальных особенностей человека, окружающей среды и ряда других факторов. Степень воздействия токов на человека указана в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Воздействие тока на человека

Сила тока, проходящая через человека, мА	Воздействие на человека	
	переменный ток	постоянный ток
	50-60 Гц	
0,5-1,5	начало ощущения, лёгкое дрожание пальцев рук	не ощущается
2,0-3,0	сильное дрожание пальцев рук	не ощущается
5,0-7,0	судороги в руках	зуд, ощущение нагрева
8,0-10,0	трудно, но ещё можно оторвать руки от электродов, сильные боли в пальцах, кистях рук и предплечьях	усиление нагрева
20,0-25,0	паралич рук, оторвать их от электрода невозможно, очень сильные боли, дыхание затруднено	ещё большее усиление нагрева
50,0-80,0	остановка дыхания, начало фибрилляции сердца	сильное ощущение нагрева, сокращение мышц рук, судороги, затруднение дыхания
90,-100,0	остановка дыхания, при длительном воздействии - 3 сек. и более следует остановка сердца	остановка дыхания

Существенное влияние на исход действия электрического тока оказывает путь прохождения тока в теле человека: чем больше жизненно важных органов подвержено действию тока, тем тяжелее исход поражения.

Согласно ГОСТ IEC 61140-2012 [47] для максимальной защиты персонала необходимо предпринимать следующие меры:

- изолировать токоведущие части оборудования;
- заземлять точки источника питания или искусственной нейтральной точки;
- применять СИЗ, не проводящие токи
- устанавливать знаки предостережения в местах повышенной опасности.

Опасность механических повреждений

При работе на БКС ННГ обслуживающий персонал подвергается опасности получения механических повреждений. Для предотвращения повреждений необходимо соблюдать технику безопасности.

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

- оформлять наряд-допуск на проведение работ повышенной опасности;
- места прохода и доступа к техническим устройствам, на которых требуется подъем обслуживающего персонала на высоту до 0,75 м, оборудуются ступенями, а на высоту выше 0,75 м - лестницами с перилами;
- в местах прохода людей над трубопроводами, расположенными на высоте 0,25 м и выше от поверхности земли, площадки или пола, должны быть устроены переходные мостики, которые оборудуются перилами, если высота расположения трубопровода более 0,75 м;
- рабочие площадки и площадки обслуживания, расположенные на высоте, должны иметь настил, выполненный из металлических листов с поверхностью, исключающей возможность скольжения, или досок толщиной не менее 0,04 м, и, начиная с высоты 0,75 м, перила высотой 1,25 м с продольными планками, расположенными на расстоянии не более 0,4 м друг от друга, и борт высотой не менее 0,15 м, образующий с настилом зазор не более 0,01 м для стока жидкости;

- работы, связанные с опасностью падения работающего с высоты, должны проводиться с применением предохранительного пояса;
- узлы, детали, приспособления и элементы технических устройств, которые могут служить источником опасности для работающих, а также поверхности оградительных и защитных устройств должны быть окрашены в сигнальные цвета;
- открытые движущиеся и вращающиеся части технических устройств ограждаются или заключаются в кожухи; такие технические устройства должны быть оснащены системами блокировки с пусковыми устройствами, исключающими пуск их в работу при отсутствующем или открытом ограждении;
- снятие кожухов, ограждений, ремонт технических устройств проводится только после отключения электроэнергии, сброса давления, остановки движущихся частей и принятия мер, предотвращающих случайное приведение их в движение вследствие ошибочного или самопроизвольного включения аппаратов, под действием силы тяжести или других факторов; на штурвалах задвижек, шиберов, вентилей должны быть вывешены плакаты "Не открывать! Работают люди", на пусковом устройстве обязательно вывешивается плакат: "Не включать, работают люди".

5.3 Экологическая безопасность

В процессе разработки месторождений в системе добычи, сбора, подготовки и транспорта газа проводятся мероприятия, направленные на повышение экологической безопасности. В частности, ведется реконструкция действующих производств, вносятся изменения в противокоррозионные мероприятия, систему диагностики газопромыслового оборудования и трубопроводного транспорта, совершенствуются технологии сбора и промысловой подготовки газа.

Защита окружающей среды

Основными типами антропогенных воздействий на природу являются:

- загрязнение окружающей среды промышленными и бытовыми отходами; развитие отрицательных физико-геологических процессов в зоне строительства и эксплуатации объектов (изменение поверхностного стока, заболачивание, подтопление, развитие оврагов, оползней, эрозии, активизация криогенных процессов на участках распространения многолетнемерзлых пород, засоление выходом сеноманских вод).

- загрязнение окружающей среды нефтью и конденсатом вследствие несовершенства технологии, аварийных разливов и несоблюдение природоохранных требований;

- Основными мерами по охране окружающей среды являются: – сокращение потерь нефти и конденсата, повышение герметичности и надежности промыслового оборудования;

- оптимизация процессов сжигания топлива, снижение образования токсичных продуктов сгорания.

Защита атмосферного воздуха от загрязнения

Одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ являются факельное хозяйство, предназначенное для сжигания газа при работе оборудования.

Большой ущерб природным комплексам наносится в случае аварийных ситуаций.

Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнений является:

- полная герметизация оборудования для сбора и транспортировки газа;
- контроль швов сварных соединений трубопроводов;
- защита оборудования от коррозии;
- утилизация попутного газа;
- разработанный план действий при аварийной ситуации.

Строительство и запуск в работу БКС ННГ позволило сократить сжигание низконапорного газа, образующегося на УКПГиК в процессе подготовки газа и конденсата к транспорту.

Защита поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения

Отрицательное воздействие на химический состав водоемов при эксплуатации объектов нефтегазодобычи оказывают разливы продуктов нефти и вод с высокой минерализацией. При попадании нефтепродуктов в водоемы на поверхности воды образуется пленка, препятствующая воздушному обмену

На Мыльджинском нефтегазоконденсатном месторождении осуществлен ряд мероприятий, способствующих снижению вредного воздействия и охране водных ресурсов:

- производится очистка промышленных стоков и дальнейшая их закачка в пласт на узле закачки очищенных стоков;
- созданы очистные сооружения для бытовых стоков (канализационные устройства, септики).

Защита литосферы от загрязнения

Защита почв от химических веществ прежде всего предполагает применение ограниченного количества быстроразлагающихся пестицидов или их замену естественными (экологически чистыми) способами борьбы с насекомыми.

Снижение воздействия на литосферу отходов производства прежде всего должно включать построение безотходного производства и вторичное использование сырья. Отходы – это не пригодные для производства данного вида продукции виды сырья, его неупотребимые остатки или возникающие в ходе технологических процессов вещества (твёрдые, жидкие и газообразные) и энергия, не подвергающиеся утилизации в рассматриваемом производстве. Безотходную технологию можно рассматривать как технологию, дающую технически достигнутый минимальный объём отходов, т.е. малоотходную.

Достижение полной безотходности практически нереально, поэтому отходы одного производства должны использоваться как сырьё для другого.

Особое внимание следует уделить высокой культуре земледелия, проведению работ по восстановлению разрушенных почв, широкому внедрению биотехнологий

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера, пожаровзрывоопасность

Ведение технологического процесса на УКПГ связано с осушкой природного газа, в состав которого входят углеводороды C_1-C_6 , образующие с воздухом взрывоопасные смеси.

Помещение блока БКС ННГ относится к взрывоопасным установкам, класс взрывоопасной зоны В-1а и рассчитано на взрывоопасную, пожароопасную рабочую среду - природный газ класса опасности 4 по [48], категории взрывоопасности ПА и группы взрывоопасной смеси Т2 по ГОСТ 51330.11-99 [49]. Категория пожарной опасности установки в соответствии с НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [50] - «А» (повышенная взрывопожароопасность).

Возможными причинами и источниками пожаров и взрывов на рабочем месте могут быть:

- наличие легковоспламеняющихся жидкостей и взрывопожароопасных
- паров;

- наличие источников открытого огня и нагретых поверхностей оборудования и трубопроводов;
- возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования;
- наличием электрооборудования;
- несоблюдение правил хранения смазочных масел и обтирочных материалов.

Для предупреждения возникновения аварий, загазованности рабочей зоны, взрывов и пожаров на УКПГ предусмотрена сигнализация параметров технологического режима.

Для определения до взрывных концентраций (ДВК) газовой смеси помещения оборудуются приборами контроля (сигнализаторами) до взрывных концентраций, заблокированными с аварийной вентиляцией.

Все работающие ознакомлены с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения.

В целях предупреждения пожаров, взрывов на УКПГ категорически запрещается применение открытого огня. Огневые и газоопасные работы проводятся регламентировано, согласно соответствующим инструкциям.

Чрезвычайные ситуации природного характера, молниезащита

Для обеспечения безопасности людей и сохранности зданий, сооружений и оборудования от разрушения, загорания и взрывов при прямых ударах молнии на УКПГ устроена молниезащита в соответствии с «Инструкцией по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений» (РД 34.21.122-87) [50].

Для взрывоопасных и пожароопасных зданий и сооружений выполнена защита:

- от прямых ударов молнии;
- от вторичных ударов молнии;

– от заносов высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации; от статического электричества (в соответствии с РД 39-22113-78 «Временные правила защиты от проявлений статического электричества на производственных установках и сооружениях нефтяной и газовой промышленности» [51]).

Защита от прямых ударов молнии выполнена стержневыми молниеприемниками и заземлением металлической кровли зданий.

Проявление статического электричества представляет собой большую опасность как источник возникновения пожара и углеводородного природного газа, которые являются диэлектриками.

Предупреждение опасностей, связанных с искровыми разрядами статического электричества и вторичного проявления молний, на установках обеспечиваются следующими мероприятиями, предусмотренными отраслевыми правилами и нормами техники безопасности:

- оборудование и трубопроводы, расположенные на установке и эстакаде, представляют собой на всем протяжении непрерывную цепь и
- присоединяются к заземляющим устройствам;
- в отдельных случаях для обеспечения непрерывности цепи, разорванной фланцевыми парами с паранитовыми прокладками, для снижения сопротивления предусмотрены тщательная зачистка не менее двух шпилек и установка медных скоб между фланцами и гайками шпилек;
- все блоки установки защищены молниеотводами зоны, действия которых перекрывают друг друга;
- все оборудование и трубопроводы установки должны быть заземлены на границах площадок не менее двух раз;
- контур заземления, предназначенный для защиты от проявлений статического электричества и одновременно от вторичных проявлений молний, должен иметь сопротивление не более 10 Ом;

– осмотр и измерение сопротивления заземляющих устройств необходимо производить не реже одного раза год в соответствии с инструкцией и графиком, утвержденными главным инженером предприятия.

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Практическая значимость полученных результатов важна для организации безопасных производственных условий. Производственная работа в блочной компрессорной станции низконапорных газов организована в соответствии со всеми требованиями и нормами и не нуждается в улучшении и совершенствовании.

Заключение

В данной работе был проведен опыт применения струйных аппаратов в технологии нефтегазового производства. Исходя из анализа, можно подтвердить, что на данный момент уже существует опыт внедрения эжекторов на УКПГ, которые зарекомендовали себя с лучшей стороны. На начальных этапах освоения месторождений, эжектор, по сравнению с другими устройствами подготовки газа, является наиболее экономически целесообразным, энергоэффективным, простым в эксплуатации, эффективным в извлечении тяжелых углеводородов и что немало важно в полезном использовании низконапорных газов. Так же, такие параметры месторождения как высокое пластовое давление, легкая нефть, высокий процент попутного нефтяного газа, могут говорить о том, что ввод эжекторов будет наилучшим вариантом.

В результате обзора проблематики нефтегазового сектора удалось установить ту, которую можно решить путем внедрения эжекторов – утилизация попутного нефтяного (факельного) газа.

Применение технологии позволит решить следующие задачи:

- снижение парникового эффекта от сжигания попутного газа;
- снижение выплат по штрафам, вводимым за чрезмерное сжигание ПНГ на факелах;

Таким образом, чтобы найти подходящую технологию извлечения факельного газа, было проведено исследование доступных методов и представлен анализ производительности эжектора. Преимущество эжектора — простота устройства, компактность и отсутствие движущихся частей, соприкасающихся с удаляемым воздухом. Однако эжекторные установки имеют малый коэффициент полезного действия, поэтому их применяют в тех случаях, когда нельзя найти лучшего решения.

Результаты данной работы могут быть использованы при разработке концептуального проекта.

Список использованных источников

1. Гусейнов Ч.С. Освоение углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана – ближайшая и неотложная перспектива// Бурение и нефть.- 2012.
2. S. Archer and C.G. Wall Petroleum Engineering. Principles and practice. Springer Netherlands, 1986. 362 p.
3. Вяхирев Р.И., Гриценко А.И., Подюк В.Г., Тер-Саркисов Р.М. Российская газовая энциклопедия. Москва: Научное издательство Большая Российская энциклопедия, 2004. 527 с.
4. Вяхирев Р.И., Гриценко А.И., Тер-Саркисов Р.М. Разработка и эксплуатация газовых месторождений. Москва: Недра-Бизнесцентр, 2002. 880 с.
5. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа. Москва: Химия, 1972. 359 с.
6. William C. Lyons, Gary Plisga, BS Michael Lorenz Standard handbook of petroleum and natural gas engineering. Москва: Gulf Professional Publishing, 2015. 1800 с.
7. Гриценко А.И., Истомин В.А., Кульков А.Н., Сулейманов Р.С. Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. Москва: Недра, 1999. 473 с.
8. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. Москва: Госэнергоиздат, 1961. 670 с.
9. Борисов Д.С. Анализ эффективности подготовки газа на северных месторождениях на примере Средне-Тюнгского газоконденсатного месторождения (Республика Саха-Якутия // Проблемы геологии и освоения недр. Томск: 2017.
10. Сазонова Ю.А., Мохова М.А., Туманян Х.А. Исследование технологии с циклической работой эжектора в нефтегазовой промышленности // Petroone. 2016.

11. Andreussi P., Ansiati A., Senna S., Battaia C., Di Berardo L., Zamuner D. Effect Of Geometrical Parameters On The Performance Of A Multiphase Ejector // SPE. Texas: 2017.
12. Вербитский В.С., Игrevский Л.В., Федоров А.Е., Горидко К.А., Денгаев А.В. Technology Design of Efficient Utilization of Associated Petroleum Gas APG and Possibilities of Its Realization by Pump-Booster and Pump-Ejector Systems // SPE. Moscow: SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, 24-26 , 2016.
13. Mark A. Goodyear (COMM Engineering), Alexandra L. Graham (TotalFinaElf E&P, Inc.), John B. Stoner (TotalFinaElf E&P, Inc.), Brian E. Boyer (COMM Engineering), Lyle P. Zeringue (COMM Engineering) Vapor Recovery of Natural Gas Using Non-Mechanical Technology // Exploration and Production Environmental Conference. Texas: Society of Petroleum Engineers, 2003.
14. Scott Charles Bartos (U.S. EPA - Climate Change Div.), Ashok Baran Chakraborty (Oil & Natural Gas Corp. Ltd.), Edward C. Hauswald (ICF International), Sandy Seastream (ICF International), Andrew Shartzner (ICF International) International Collaboration to Advance Sustainable Oil & Natural Gas Production and Climate Protection // International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Perth: Society of Petroleum Engineers, 2012.
15. Лысин Ю.В., Коршак А.А., Голофаст С.Л. Универсальные характеристики газожидкостных эжекторов // Transneft Research Institute for Oil and Oil Products Transportation. Москва: Нефтяное хозяйство, 2016.
16. Педаш Д.С. Анализ эффективности методов подготовки природного газа в условиях крайнего севера на примере газового месторождения Каменномысское-море (ЯНАО): Томск, 2017.
17. R.F.Aguilera, The role of natural gas in a low carbon Asia Pacific , Appl Energy 113 (2014) 1795–1800.

18. Drozdov A.N., Egorov Y. A., Telkov V.P. 2006. Water and Gas Injection Technology and Technic on oil reservoirs. Neftegas territory. Series 11:54–59;
19.] M.F. Fellah, Adsorption of hydrogen sulfide as initial step of H₂S removal: a DFT study on metal exchanged ZSM-12 clusters, Fuel Process. Technol. 144 (2016) 191–196.
20. W. Ye, J. Lin, H.T. Madsen, E.G. Søgaaard, C. Hélix-Nielsen, P. Luis, B. Van der Bruggen, Enhanced performance of a biomimetic membrane for Na₂CO₃ crystal- lization in the scenario of CO₂ capture, J. Membr. Sci. 498 (2016) 75–85.
21. M. Betting, T. Van Holten, C.A. Tjeenk Willink, US Patent, 6,513,345, April 2 (2003).
22. M. Betting, H.D. Epsom, Supersonic separator gains market acceptance, World Oil 254 (2007) 197–200.
23. V.I. Alferov, L.A. Baguirov, V. Feygin, A. Arbatov, S. Imaev, L. Dmitriev, V.I. Rezunenko, US Patent, 6,372,019, April 16 (2003).
24. O.F. Hagena, W. Obert, Cluster formation in expanding supersonic jets: effect of pressure, temperature, nozzle size, and test gas, J. Chem. Phys. 56 (1972) 1793–1802.
25. C. Wen, X.W. Cao, Y. Yang, W. Li, An unconventional supersonic liquefied technology for natural gas, Energy Educ. Sci. Technol. Part A Energy Sci. Res. 30 (2012) 651–660.
26. J. Bian, X.W. Cao, W. Yang, M.A. Edem, P.B. Yin, W.M. Jiang, Supersonic liquefaction properties of natural gas in the Laval nozzle, Energy 159 (2018) 706–715.
27. W. Yang, X.W. Cao, X.T. Xu, K.Y. Li, D. Wang, Flow and condensation characteristics of natural gas with high speed expansion, Acta Pet. Sin. Pet. Process. 1 (2016) 73–81.
28. W.M. Jiang, J. Bian, A. Wu, S. Gao, P.B. Yin, D.Y. Hou, Investigation of supersonic separation mechanism of CO₂ in natural gas applying the Discrete Particle Method, Chem. Eng. Process. 123 (2018) 272–279.

29. L.D.O. Arinelli, T.A.F. Trotta, A.M. Teixeira, J.L.D. Medeiros, O.D.Q.F. Araújo, Offshore processing of CO₂ rich natural gas with supersonic separator versus conventional routes, *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 46 (2017) 199–221.
30. W.J. Sun, X.W. Cao, W. Yang, X.T. Jin, CFD modeling on non-equilibrium condensation process of H₂S in CH₄-H₂S mixture expansion through supersonic nozzles, *Fuel Process. Technol.* 170 (2018) 53–63.
31.] P.M. Sforza, A. Castrogiovanni, R. Volland, Coal-derived syngas purification and hydrogen separation in a supersonic swirl tube, *Appl. Therm. Eng.* 49 (2012) 154–160.
32. Hill, R.S., Moore, and J.A., Boone, D., 1985, «Использование попутного газа с извлечением жидкости», 17-я ежегодная конференция по оффшорной технологии, Хьюстон, Техас, ОТС 5039, с. 167-175.
33. Саршар М.М., Бег Н.А. и Эндрюс И., 2003 г. «Применение струйных насосов как экономически эффективный способ увеличения добычи и добычи газа», Труды Индонезийской нефтяной ассоциации, Vol. 2, стр. 1-11, IPA03-E-059.
34. Li, C., и Li, Y.Z., 2011, «Исследование поведения при уносе и характеристик газожидкостных эжекторов на основе моделирования CFD», *Chemical Engineering Science*, Vol. 66, выпуск 3, с. 405-416.
35. Yadav, R.L., и Patwardhan, A.W., 2008, «Конструктивные аспекты эжекторов: влияние геометрии всасывающей камеры», *Chemical Engineering Science*, Vol. 63, Issue 15, pp. 3886-3897.
36. Баламуруган С., Гайкар В.Г. и Патвардхан А.В., 2006 г., «Гидродинамические характеристики газожидкостных эжекторов», *Химические инженерные исследования и проектирование*, 84 (A12), с. 1166-1179.
37. Kandakure, M.T., Gaikar, V.G., Patwardhan, A.W., 2005, «Гидродинамические аспекты эжекторов», *Chemical Engineering Science*, Vol. 60, выпуск 22, с. 6391-6402.

38. Темнов, В.К. Расчет и проектирование жидкостных эжекторов: учебное пособие / В.К. Темнов, Е.К. Спиридонов. – Челябинск: изд-во ЧПИ имени Ленинского комсомола, 1984 – 43 с.
39. ПБ 08-624-03. Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности. - М.: ПИО ОБТ, 2003. - 167 с.
40. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
41. РД 04-355-00. Методические рекомендации по организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах. - М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. - 12 с.
42. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы бакалавров и магистров Института природных ресурсов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. - 53 с.
43. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности - М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.
44. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2008. – 26 с.
45. Воздух С. рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. ГОСТ 12.1. 005-88 //М.: Стандарт. – 1988.
46. ГОСТ ИЕС 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования. - М.: Стандартинформ, 2014. – 24 с.
47. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.). - М.: Стандартинформ, 2007. - 7 с.
48. ГОСТ Р. 51330.11-99 (МЭК 60079-12-78) //Электрооборудование взрывозащищенное. Часть. – Т. 12.

49. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. - М.: ГОСЭНЕРГОНАДЗОР, 1995. - 46 с.

50. РД 39-22-113-78. Временные правила защиты от проявлений статического электричества на производственных установках и сооружениях нефтяной и газовой промышленности. - М., 1979. – 19 с.

Приложение А
(справочное)

**Improving the technological scheme efficiency for natural gas and gas condensate
processing by introducing injection technologies**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Курмель Роман Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зиякаев Г.Р.	к.т.н, доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Макаровских А.В.	-		

1. General information

Natural gas has emerged as the most preferred fuel and plays an increasingly significant role in the energy supply due to its environmental generosity, greater efficiency and cost-effectiveness [1]. According to the U.S. Department of Energy, demand for natural gas is expected to increase by approximately 31% from 2015 to 2035. In China, the proportion of natural gas in primary energy consumption will increase to more than 10% by 2020 based on the “Energy Strategy Development Action Plan” published by the State Council. The demands for natural gas all over the world have motivated the development of natural gas treatment technology.

Natural gas exploited from wellheads always contains water, heavy hydrocarbon, acid gases (carbon dioxide, hydrogen sulfide) and other impurities. The presence of these impurities will decrease the heating value of the natural gas and increase the energy loss during pipeline transportation, and the acid gases could cause the corrosion of the pipeline and process equipment with the presence of water. Therefore, these impurities must be removed from natural gas to meet pipeline quality requirements and sales gas specifications. The separation and purification process is one of the key parts in the natural gas industry. Currently, the most common methods include absorption, adsorption, membrane and supersonic separation.

The absorption is a physical or chemical process in which atoms, molecules or ions enter some bulk phase – liquid or solid material [2], which contains the chemical reaction in the gas purification. The absorbent is one of the key links during the absorption method, and the common absorbents used in the gas industry include calcium chloride, ethylene glycol, diethylene glycol, triethylene glycol, and tetraethylene glycol, in which the triethylene glycol is the most widely applied one for the gas absorption. The absorption method has the advantages of flexible treatment ability and the absorbent is easy to regenerate, but the absorption process is particularly complex with many huge types of equipment.

Unlike absorption, adsorption is a surface phenomenon in which a fluid (the absorbate) dissolves or penetrates into a liquid or solid (the absorbent), respectively

[3]. It can be a physical or chemical process based on the surface forces, which will result in a very low concentration. The common solid adsorbents include the activated alumina, silica gel and molecular sieve. This technology can reach a very low dew point and is suitable for a cryogenic separation process which requires a very low gas content, but it has the disadvantages of large investment, high gas pressure loss and so on.

In the membrane separation technology [4], the gas mixtures can be effectively separated by synthetic membranes made from polymers such as polyamide or cellulose acetate, or from ceramic materials. The concentration gradient is maintained by high partial pressure of the key components in the gas on one side of the membrane barrier and low partial pressure on the other side. The most important issue for this advanced process is membrane material. This technology displays a big potential because of its advantages such as process simplicity, less land occupation and no secondary pollution. However, the large-scale industrial application of membrane separation still faces a major problem: the loss of hydrocarbons is very large, and the measured rate can reach 5%–6% in field testing.

A supersonic separator is a new technology with applications in hydrocarbon dew pointing and gas dehydration, which can be used to condensate and separate water and heavy hydrocarbons from natural gas. The first team that is known to carry out research on supersonic separators was an engineering group from the Netherlands named Twister BV [5-6]. In addition, Alferov et al. [7] from Russia also worked on the supersonic separator, which they named the Super Sonic Separator (“3S”) technology. A supersonic separator is usually composed of a Laval nozzle, a cyclone and a diffuser. The Laval nozzle has a good refrigeration effect compared with other throttle devices such as expander, vortex tube and Joule-Thomson (J-T) valve (The comparison is shown in Fig. 1).

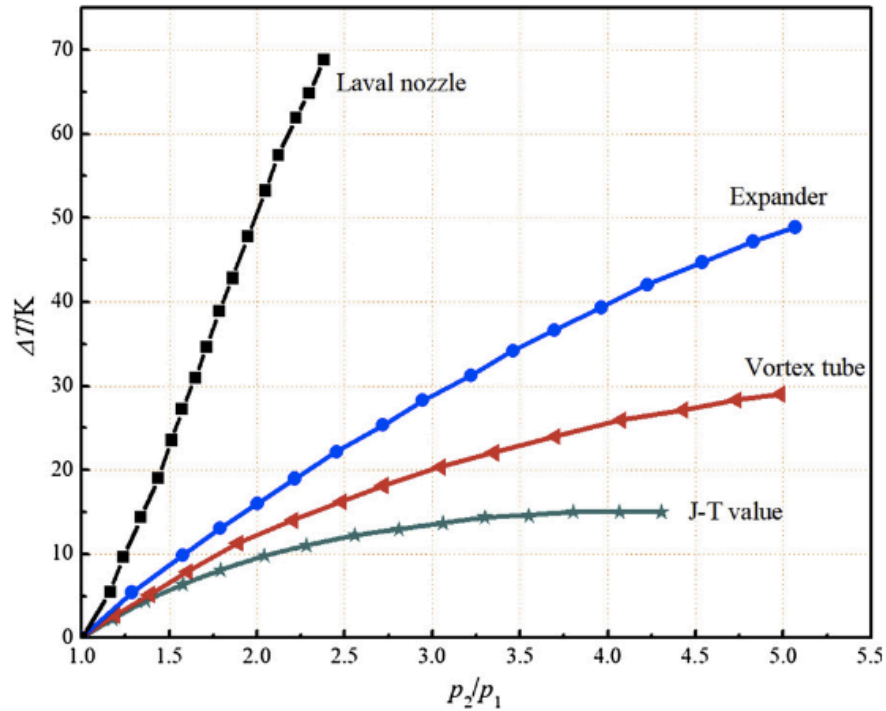


Figure 1 - Cooling performances of different throttle devices.

The supersonic separator prevents the hydrate problems and eliminates the needs for inhibitor and regeneration systems due to the short residence time in the device, providing an environmentally friendly facility. As a static device, there are no rotating parts to enable high reliability and availability. Therefore, it is suited for unmanned operations, especially for the offshore platforms. The supersonic separation technology is significant for the development of the natural gas industry in a way of safety, environmental protection, energy conservation and consumption reduction compared to the above-mentioned methods. In view of the good performance of this technology, many researchers have studied the design, performance and efficiency, economic viability and industrial applications of the supersonic separators.

2. Typical structures

Typical structures of supersonic separator

According to different working principles, supersonic separator can mainly be divided into two typical structures. One is the supersonic separator designed by Twister BV [5-6]—cyclone back-placed supersonic separator. The “Twister I” is one of the representatives, in which the swirling device is installed behind the Laval

nozzle, as shown in Fig. 2. The other is represented by the “3S” separator designed by ENGO company [7]—cyclone front-placed supersonic separator, in which a swirling device is installed at the entrance of the Laval nozzle, as shown in Fig. 3. The constituent elements of these two types of separators are basically the same, but the installation positions of the cyclone devices are different.

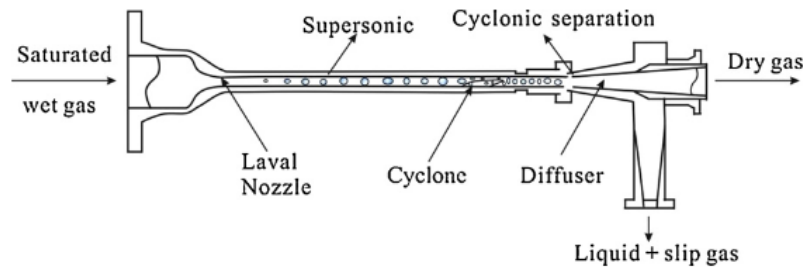


Figure 2 – Structure principle of the “Twister I” separator

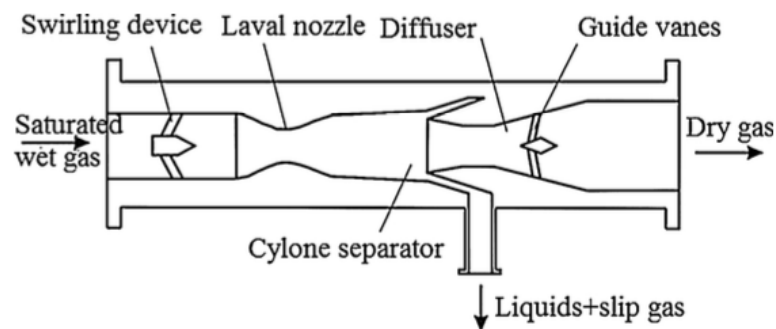


Figure 3 - Structure principle of the “3S” separator

The essential distinction between the two types of separators is the flow pattern at subsonic or supersonic state. In the Laval nozzle of “Twister I” separator, the flow is uniform and there is no obvious shock wave emerges. But when the gas flows through the cyclone, the conversion of the axial velocity to the tangential velocity occurs at the supersonic condition and there will be an obvious oblique shock wave in the swirling section which is difficult to control. The current research results show that the “Twister I” separator can achieve a good swirling separation effect when the shock wave is controlled between the cyclone and the diffuser, but it will limit the pressure recovery capability of the separator and increase the energy loss.

For the “3S” separator, the conversion of the axial velocity to the tangential velocity occurs at subsonic condition, and there is no oblique shock wave generates

after the cyclone. At the same time, the gas expands to supersonic speed in a swirling state in the divergent section of the Laval nozzle. The simultaneous occurrence of swirling and condensation can effectively reduce the negative effects of droplet re-evaporation and improve the separation efficiency of the separator.

Typical linetypes of Laval nozzle

The design of the Laval nozzle mainly includes the linetype design of the subsonic convergent section and the supersonic divergent section.

The function of the convergent section is to accelerate the airflow and promote the outlet airflow uniform and stable. The performance of the convergent section depends on the ratio of the inlet area to the outlet area and the linetype of this section. There are a variety of design methods for the linetype of the convergent section. The commonly used methods include the Witozinsky curve, Bicubic parametric curve and Quintic curve. In the design of the Laval nozzle, the Witozinsky curve can provide a stable airflow distribution and good refrigeration performance.

After entering into the nozzle throat, natural gas is further accelerated in the divergent section, the pressure continues to increase and the temperature continues to decrease, and the condensation phenomenon occurs which causes a change in the phase state. The commonly used methods for the divergent section are shown in Table 1. Since the equal slope method is simple to design, easy to process, and the practical effect is better, it is widely used in the design.

Table 1 - The commonly used design methods for the divergent section [8]

Design method	Model features
Characteristic line method	It is usually used for steady two-dimensional, axisymmetric and irrotational supersonic flows.
Area ratio method	The linetype can be calculated by the analytical formula, and the design is simple.
Equal slope method	It is simple to design, easy to process, and the practical effect is better.

Research on condensation characteristics of Laval nozzle

The Laval nozzle is a significant part of the supersonic separator which can provide the condensation of target components. The gas expands and accelerates to supersonic speed in a Laval nozzle that results in low temperature and pressure conditions, and water vapor, heavy hydrocarbon and other condensable components begin to condense. In order to improve the separation efficiency of the equipment, it is necessary to clarify the law on spontaneous flow and condensation of condensable gases under supersonic conditions.

3. New applications of supersonic separation technology

The supersonic separator has great application potential in other fields of natural gas treatment. In recent years, scholars have done some research on the new applications of the supersonic separation technology such as natural gas liquefaction, removal of acid gases, and so on.

Natural gas liquefaction

Wen et al. [9] compared the temperature and pressure distributions of the flow field calculated by FLUENT software with phase envelope diagrams produced by HYSYS software and came to the conclusion that the supersonic separators can be used in liquefied natural gas (LNG) applications. Bian et al. [10] presented a new type of gas liquefaction process, as shown in Fig. 4. After pre-cooling by a heat exchanger, natural gas enters the Laval nozzle and is liquefied at high velocity and low temperature. Next, the gas and liquid mixture enters the gas-liquid separator, and the liquids flow into the LNG storage tank. The low-temperature natural gas from the gas-liquid separator mixes with the boil-off gas (BOG) produced from the LNG storage tank and then enters into the heat exchanger to heat the inlet natural gas. The supersonic liquefaction properties and phase behavior of natural gas in the nozzle were studied in detail [10].

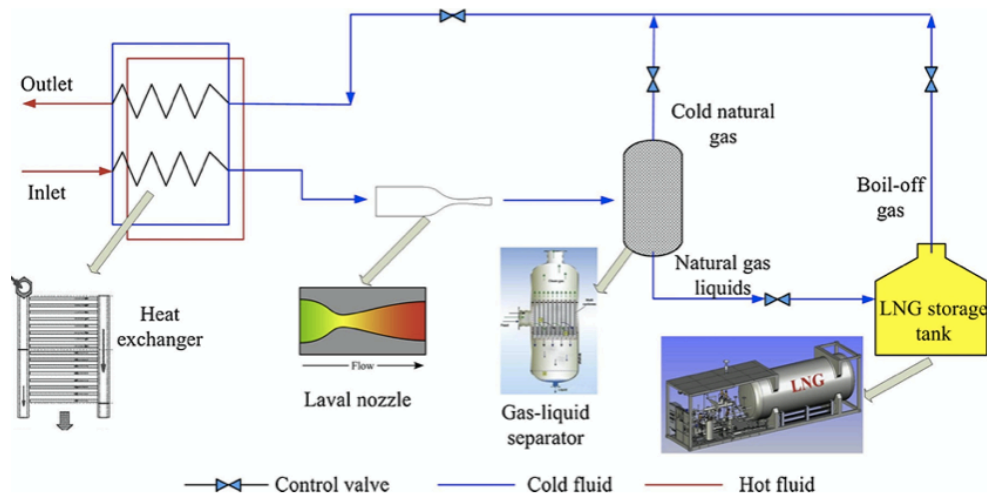


Figure 4 - A new type of gas liquefaction process designed by Bian et al.

Yang et al. [11] numerically simulated the condensation characteristics of natural gas in the designed Laval nozzle by using a real gas model of the National Institute of Standards and Technology (NIST). The feasibility of natural gas liquefaction with nozzle is confirmed but the efficiency is low according to the simulation results. Shortly afterwards, approaches to improve the liquefaction efficiency of natural gas were put forward by adding external cores to realize heterogeneous condensation and using double-stage supersonic swirling separation apparatus (Fig. 5). The results show that the outlet humidity of heterogeneous condensation was increased by 82.17%, and the liquefaction rate of the double-stage liquefaction process increased by 155.13% compared to the single-stage liquefaction process [11].

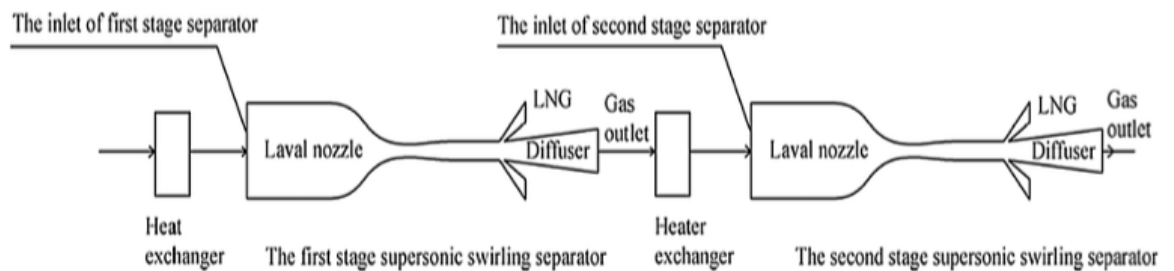


Figure 5 - The two-stage supersonic liquefaction process

Removal of acid gases

In recent years, Jiang et al. [12] have introduced the supersonic separator to the field of carbon dioxide removal from natural gas. The separation mechanism between droplets and gas and condensation process in the Laval nozzle were

investigated. The effects of inlet pressure, inlet temperature and inlet carbon dioxide fraction on the flow and condensation parameters were discussed, the conclusions are consistent with research on methane-water vapor mixture gas. In addition, they modified the surface tension calculation model of carbon dioxide droplets by using the piecewise function to achieve an accurate prediction under low temperature and high-pressure condition, the average deviation of the piecewise function can be lower than 0.95% according to their calculation results [12].

Arinelli et al. [13] investigated the treating performance of supersonic separator for humid natural gas with 44% mol carbon dioxide in offshore rigs and compared it to the conventional treatment technology for natural gas including triethylene glycol absorption (water dew point adjustment), J-T value (hydrocarbon dew point adjustment) and membrane permeation (carbon dioxide removal). Instead of focusing on the phase change condensation process, HYSYS software package was used to simulate the several units in steady-state and the vapor-liquid equilibrium (VLE) envelopes under different conditions.

Sun et al. [14] studied the potentially applicable supersonic separator for a bulk treatment of natural gas containing a high concentration of hydrogen sulfide. The effects of hydrogen sulfide feed concentration, operating parameters and nozzle geometry on the supersonic condensation process were investigated. The outlet concentrations and condensation rates of hydrogen sulfide under different conditions through Laval nozzles are shown in Table 2.

Table 2 - Condensation characteristics of hydrogen sulfide in the nozzle under different conditions.

Parameter list	Value	Outlet concentration of hydrogen sulfide	Condensation rate (%)
Inlet feed concentration of hydrogen sulfide	0,10	0,0368	63,2
	0,15	0,0582	61,2
	0,18	0,0728	59,6
Inlet pressure (MPa)	8	0,0582	61,2

	9	0,0492	67,2
	10	0,0414	72,4
Inlet temperature (K)	293	0,0451	69,9
	298	0,0514	65,7
	303	0,0582	61,2
Expansion ratio	3,49	0,0582	61,2
	4,48	0,0473	68,5
	5,76	0,0380	74,7

Other applications

Sforza et al. [15] proposed a theoretical model for a robust syngas purification system based upon fundamental concepts involving a supersonic condensing swirling flow. A swirling supersonic separator was designed to separate all condensable components including water vapor, carbon dioxide and hydrogen sulfide from syngas. Although this application is more challenging than syngas purification because of the lower operating temperature and pressure, the performed experiments have shown clear evidence of the carbon dioxide desublimation and a particle migration phenomenon.

References

1. R.F.Aguilera, The role of natural gas in a low carbon Asia Pacific, *Appl. Energy* 113 (2014) 1795–1800.
2. Drozdov A.N., Egorov Y. A., Telkov V.P. 2006. Water and Gas Injection Technology and Technic on oil reservoirs. Neftegas territory. Series 11:54–59;
3.] M.F. Fellah, Adsorption of hydrogen sulfide as initial step of H₂S removal: a DFT study on metal exchanged ZSM-12 clusters, *Fuel Process. Technol.* 144 (2016) 191–196.
4. W. Ye, J. Lin, H.T. Madsen, E.G. Søgaaard, C. Hélix-Nielsen, P. Luis, B. Van der Bruggen, Enhanced performance of a biomimetic membrane for Na₂CO₃ crystallization in the scenario of CO₂ capture, *J. Membr. Sci.* 498 (2016) 75–85.
5. M. Betting, T. Van Holten, C.A. Tjeenk Willink, US Patent, 6,513,345, April 2 (2003).
6. M. Betting, H.D. Epsom, Supersonic separator gains market acceptance, *World Oil* 254 (2007) 197–200.
7. V.I. Alferov, L.A. Baguirov, V. Feygin, A. Arbatov, S. Imaev, L. Dmitriev, V.I. Rezunenko, US Patent, 6,372,019, April 16 (2003).
8. O.F. Hagena, W. Obert, Cluster formation in expanding supersonic jets: effect of pressure, temperature, nozzle size, and test gas, *J. Chem. Phys.* 56 (1972) 1793–1802.
9. C. Wen, X.W. Cao, Y. Yang, W. Li, An unconventional supersonic liquefied technology for natural gas, *Energy Educ. Sci. Technol. Part A Energy Sci. Res.* 30 (2012) 651–660.
10. J. Bian, X.W. Cao, W. Yang, M.A. Edem, P.B. Yin, W.M. Jiang, Supersonic liquefaction properties of natural gas in the Laval nozzle, *Energy* 159 (2018) 706–715.

11. W. Yang, X.W. Cao, X.T. Xu, K.Y. Li, D. Wang, Flow and condensation characteristics of natural gas with high speed expansion, *Acta Pet. Sin. Pet. Process.* 1 (2016) 73–81.
12. W.M. Jiang, J. Bian, A. Wu, S. Gao, P.B. Yin, D.Y. Hou, Investigation of supersonic separation mechanism of CO₂ in natural gas applying the Discrete Particle Method, *Chem. Eng. Process.* 123 (2018) 272–279.
13. L.D.O. Arinelli, T.A.F. Trotta, A.M. Teixeira, J.L.D. Medeiros, O.D.Q.F. Araújo, Offshore processing of CO₂ rich natural gas with supersonic separator versus conventional routes, *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 46 (2017) 199–221.
14. W.J. Sun, X.W. Cao, W. Yang, X.T. Jin, CFD modeling on non-equilibrium condensation process of H₂S in CH₄-H₂S mixture expansion through supersonic nozzles, *Fuel Process. Technol.* 170 (2018) 53–63.
15.] P.M. Sforza, A. Castrogiovanni, R. Volland, Coal-derived syngas purification and hydrogen separation in a supersonic swirl tube, *Appl. Therm. Eng.* 49 (2012) 154–160.